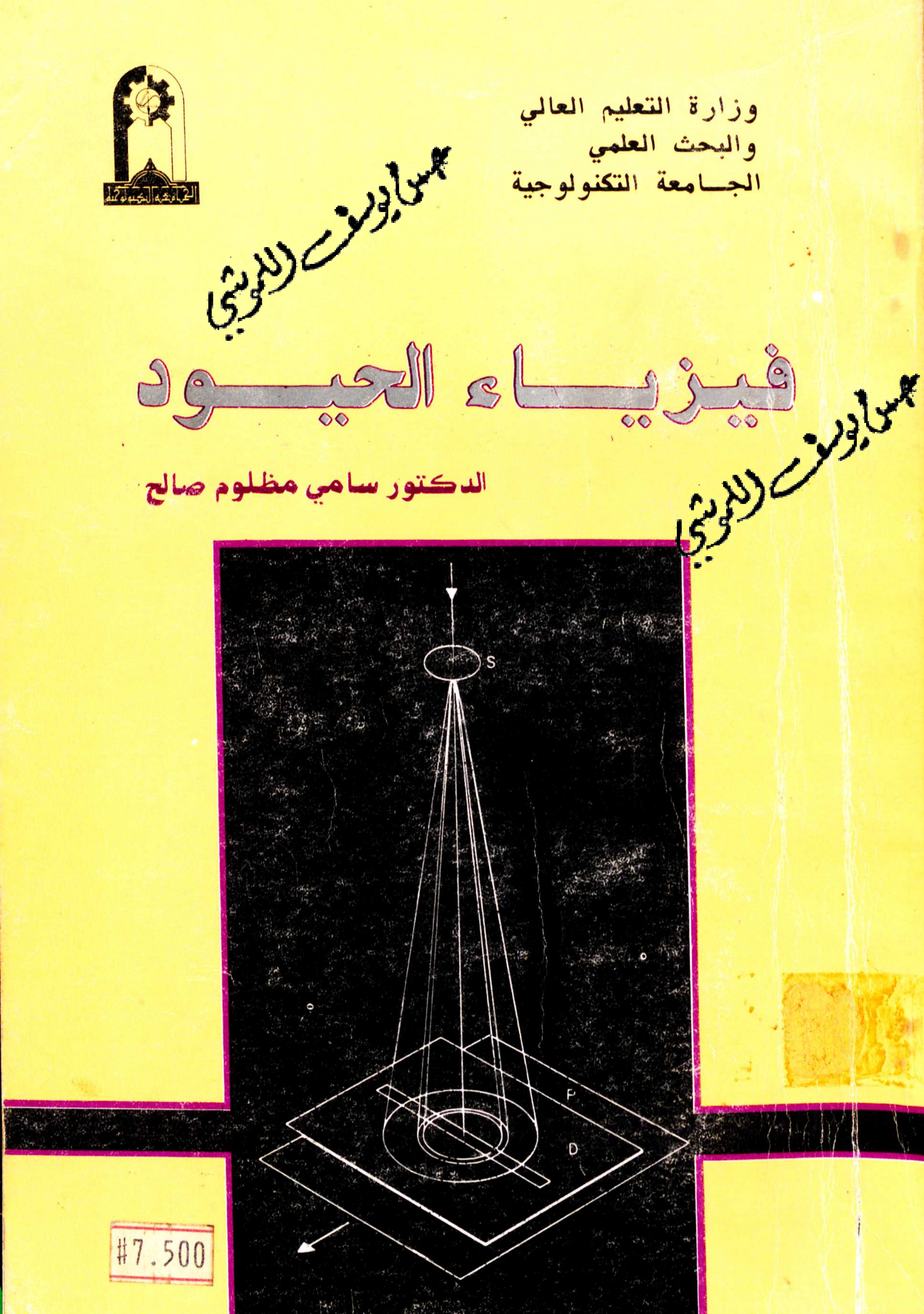
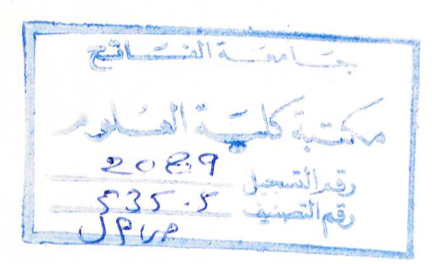

وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
فيزياء الحيود
الدكتور سامي مظلوم صالح
S
F
D
#7.500



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية





فيزياء الحيود

Diffraction physics

الدكتور سامي مظلوم صالح

ph. D. (cambridge)

استاذ مساعد

قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية

بغــــداد ١٩٨٢

الإهداء

إلى ... زوجتي وولدي

وسام

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

المقدمة

فيزياء الحيود ، موضوع واسع ومتجدد ، ذو اهمية كبيرة في مجالات البحث بصورة عامة. ومع ان الحيود ظاهرة فيزيائية بحتة بالنسبة لبعض الفيزيائيين الا انه اداة فعالة بالنسبة لدراسة الحالة الصلبة مثلا ، والحيود اداة المهندسين لدراسة المواد والكشف عنها ، وكذلك بالنسبة للدراسات والبحوث في مجال علم الحياة عند دراسة الفعاليات على المستوى الجزيئي والذري. فموضوع الحيود مثال حي على تشابك العلوم ، والتي هي سمة التكنولوجيا المعاصرة. ونظراً لخلو المكتبة العربية من مصادر في الحيود ، بدأت هذه المحاولة ، للكتابة في فيزياء الحيود ، حيود الضوء الاشعة السينية ، الالكترونات ، النيوترونات ، وبعض التطبيقات المهمة. وقد استفدت من تجربة قصيرة في تدريس هذا الموضوع لطلبة الدراسات العليا في كلية العلوم - جامعة بغداد - وكذلك طلبة الدراسات العليا في الجامعة التكنولوجية، اضافة الى طلبة الدراسات الاولية. مضافاً الى ذلك تجربتي العملية في هذا الحقل لسنين عديدة. لايمثل كل ذلك الا جزءاً يسيراً من محتويات هذا الكتاب ، معتمداً لانجاز الجزء الاكبر على المصادر الكلاسيكية في الموضوع ، محاولاً استثمار احدث ما كتب فيه. وبذلك يكون هذا الكتاب جهداً لعطاءات عدد كبير من الباحثين والذين كتبوا فيه. فهو في رأيي اقرب الى الاعداد منه الى التأليف وارجو ان اكون قد وفقت في ان اشير الى جهود الآخرين بأمانة واخلاص. وكل ما ارجوه هو ان يكون كتابي هذا مفيد لطلبة الفيزياء بصورة عامة وللمشتغلين في حقل المعادن والحالة الصلبة بصورة خاصة. ولابد ان اشير هنا ، بأني لا أدعي الكمال فيه ، وانما هو خطوة على الطريق. آمل ان استلم رأي الطلبة الاعزاء والمدرسين في فصوله ، لأقوم بالتنقيح والتطوير في المستقبل.

ولابد ان اسجل شكري وتقديري لكافة الذين ساعدوني في اعداد الكتاب وخصوصاً امور طبع المسودات وتحضير الصور والمراجعة وغيرها. وبشكل خاص مركز التعريب في الجامعة التكنولوجية واخص منهم السيد عبدالحسين الخطيب. كما اسجل شكري لطلبة الدراسات العليا الذين قاموا بقراءة المسودات والتعليق عليها ومنهم السيد علي طالب . حيث بذل جهداً في مراجعة الفصول . كما اشكر الآنسة خالدة عبدالرحمن لاعمال السكرتارية الممتازة التي وفرتها لانجاز هذا العمل.

ومن الله التوفيق

الدكتور سامي مظلوم صالح

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط
https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل الاول

1-1 الوصف العام للحيود General Description of Diffraction

اذا وضعنا جسماً شفافاً في مسار الضوء ونظرنا الى ظله على شاشة خلف الجسم نرى حافة الظل التي تكون على الشاشة ليس محددة كما هو متوقع من قوانين البصريات الهندسية (Geometrical optics) . حيث توضح هذه الحالة في الشكل (1-1) ، فتظهر أصابع اليد محاطة بأهداب (Fringes) ، وهذا يعني ان الحافات (edges) غير محددة (الاضلاع غير محددة) ، إذ تظهر الاهداب المظلمة في المنطقة المضاءة .

تعزى ظاهرة عدم تحدد الحافة بدقة تكوين الظل وظهور الاهداب المظلمة في المنطقة المضاءة الى ظاهرة انتشار الضوء بعد مروره بفتحات صغيرة نسبيا ، مثل فتحة الأبرة في جسم عاتم ، او أية فتحة او شق (Slit) ضيق .

إن المصطلح الذي يصف هذه الظاهرة يدعى بالحيود (Diffraction) ، حيث يشير الى حيود الضوء او أية حزمة موجية عن المسار الاصلي (الحيود من المسار المتوقع) .

ويمكن تفسير الملامح الرئيسة للحيود بواسطة قاعدة هايجنز (Huygens principle) وتنص هذه القاعدة في هيئتها الاصلية ، على التنبؤ او فهم حركة الضوء الموجية على فرض ان كل نقطة في جبهة الموجة عبارة عن مصادر ثانوية تنشر الموجات الضوئية في جميع الاتجاهات .

(The Propagation of light wave can be Predicted by assuming that each point of the wave front acts as asource of asecondary waves that spread out in all direction)

حيث ان الغلاف (envelope) لهذه الموجات الثانوية هو جبهة الموجة الجديدة ويمكن ايضاح ما تقدم في الشكل (2-1) .

سنحاول في هذا الفصل معالجة ظاهرة الحيود بالتطبيق المباشر لقاعدة هايجنز بطريقة كمية ويتحقق ذلك اذا ماعبرنا عن قاعدة هايجنز بالعلاقات الرياضية والتي تدعى بتكامل فرينل ـ كريشوف (Fresnel-Kirchhoff Integral) . حيث يمكن حل جميع المسائل ، من الفتحات والشقوق والعوائق بواسطة هذه المعادلة كما سنرى في البند التالي :

2-1 النظرية الاساسية :- Fundamental theory

دعنا نتذكر نظرية كرين (Green theory) والتي مفادها ، انه اذا فرضنا ان u و v تمثلان دالتين نقطيين غير اتجاهيتين (Scalar-Point function) وتحققان الشروط الاعتيادية للاستمرارية والتكامل واذا تحققت هذه الشروط عندئذ يمكن كتابة المتطابقة التالية :

$$\iint (V\, grad_n U - U\, grad_n V)\, dA = \iiint (\nabla^2 U - \nabla^2 V)\, dV \qquad (1-1)$$

حيث تمثل الجهة اليسرى للمتطابقة التكامل على اي سطح A مغلق ، كما تمثل الجهة اليمنى التكامل على الحجم (v) المحدد بالسطح A .

ونعني بالحرف n المركبة العمودية على سطح التكامل .

لنفرض بصورة خاصة ان v و u هما دالتان موجيتان أي بعبارة اخرى يحققان المعادلتين التاليتين

$$\nabla^2 U = \frac{1}{U^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \quad , \quad \nabla^2 V = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}$$

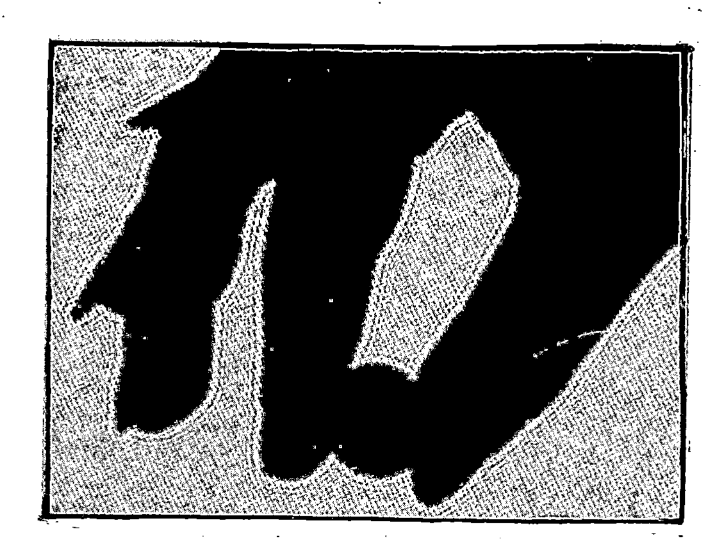
واذا كانت الدالتان U و V معتمدتين على الزمن (t) بشكل توافقي بهيئة $e^{\pm iwt}$ (حيث w هي السرعة الزاوية للموجة و $i = \sqrt{-1}$) وعليه فانه ليس من الصعب ان نبين ان التكامل الحجمي (الجهة اليمنى من المتطابقة (1-1) يساوي صفرا) وبذلك تختزل المتطابقة (1-1) الى ما يلي :

$$\iint (V\, grad_n U - U\, grad_n V)\, dA = 0 \qquad (2-1)$$

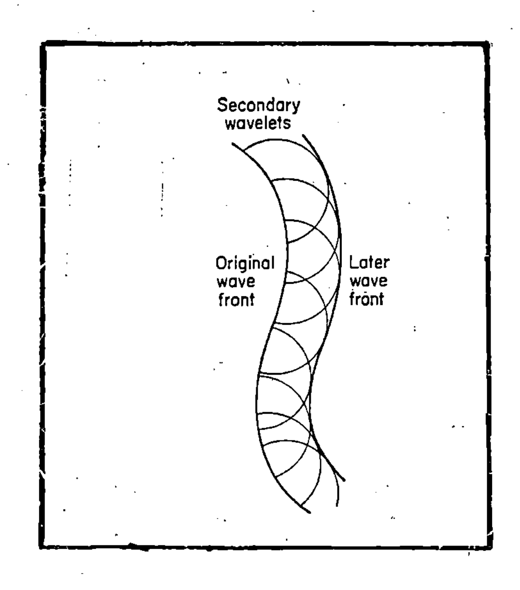
حيث v هي دالة موجية يمكن وصفها بالعلاقة :-

$$V = V_0 \frac{e^{i(Kr - wt)}}{r} \qquad (3-1)$$

حيث $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ يدعى بالعدد الموجي (wave number) و λ هي طول الموجة .



شكل (1- 1)



شكل (1- 2)

تمثل الدالة (3-1) دالة خاصة لموجة كروية تتجمع في نقطة $(r = o)$ p لنجعل الحجم المغلق، والناتج عن التكامل محتويا للنقطة P وحيث ان الحجم يصبح لا نهائيا عند P ، لذلك يجب ألاّ يتضمن التكامل لهذه النقطة (ρ) ، ويمكن برهنة هذه الحقيقة بالطرق الرياضية القياسية ، وذلك بطرح التكامل من كرة صغيرة ذات نصف قطر (ρ) متمركزة في النقطة P ، كما هو مبين في الشكل (3-1)

نصف قطر الكرة الصغيرة $r = e$ ، وكذلك فأن

$$grad_n = \frac{-\partial}{\partial r}$$

لذلك يمكن كتابة :-

$$\iint \left(\frac{e^{ikr}}{r} grad_n U - U grad_n \frac{e^{ikr}}{r} \right) dA$$

$$= \iint \left(\frac{e^{ikr}}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - U \frac{\partial}{\partial r} \frac{e^{ikr}}{r} \right) e^2 d\Omega \qquad (4\text{-}1)$$

حيث تمثل $d\Omega$ تفاضل الزاوية المجسمة المتمركزة في p و $e^2 d\Omega$ هي المساحة التفاضلية المقابلة للزاوية اعلاه .

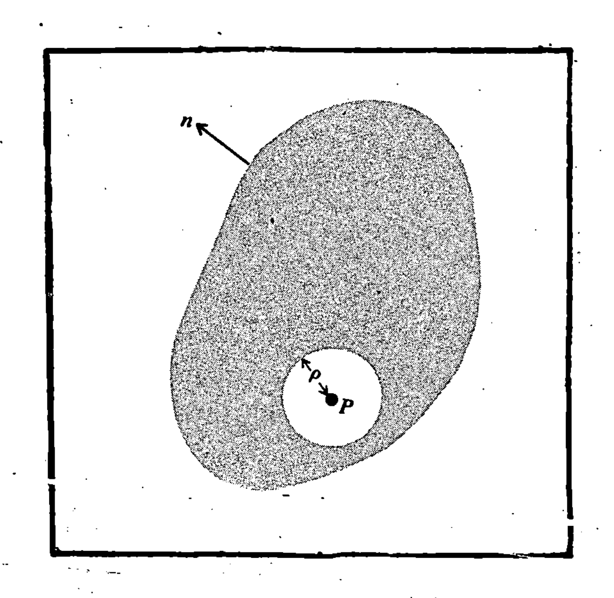
وقد اختصرت العوامل المشتركة $V_n e^{iwt}$ من طرفي المعادلة . لندع الان ρ تقترب من الصفر (نصف القطر = صفر) فيقترب التكامل في الحد الثاني من المعادلة (4- 1) الى قيمة الدالة u في النقطة p أي تصبح up ، ويمكن الوصول الى هذه الحقيقة من اجراء تفاصيل التكامل المبينة ، لذلك يكون الحد الثاني كما يلي :

$$\iint U_p \, d\Omega = 4\pi U_p \qquad (5\text{-}1)$$

وبترتيب المعادلة (1 — 4) مجددا ، تصبح بالشكل التالي :-

$$U_p = -\frac{1}{4\pi} \iint \left(U grad_n \frac{e^{ikr}}{r} - \frac{e^{ikr}}{r} grad_n U \right) dA \quad (6\text{-}1)$$

وتعرف هذه المعادلة بنظرية كيرشوف التكامليه ، حيث تربط قيمة دالة الموجة غير الاتجاهية في اية نقطة داخل ذلك السطح وبتطبيق نظرية كريشوف على مسائل الحيود تصبح الدالة (U) ممثلة للاضطراب البصري (optical disturbance)



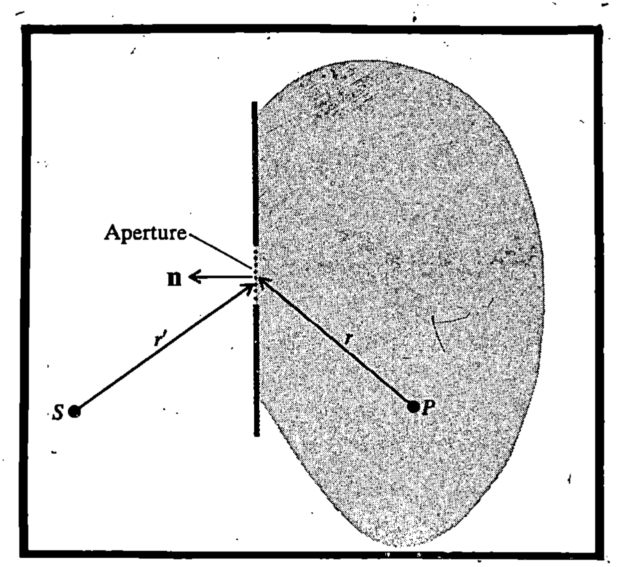
شكل (3- 1)

على كل حال فأن u هي دالة غير أتجاهية لذلك لا يمكن ان تعبر عن المجال الكهرو-مغناطيسي (الضوء مثلا) بشكل دقيق وصحيح ، لهذا تعتبر حلا تقريبيا للمسألة وتدعى على هذا الاساس (بالتقريب غير الاتجاهي) ، حيث ان مربع الكمية المطلقة للدالة (u) يمكن ان يمثل شدة الضوء في اية نقطة تحت الدراسة .

هناك معالجات رياضية لمسألة الحيود ، تأخذ بنظر الاعتبار طبيعة الضوء الاتجاهي (vectorial) ، ولكن تكون الرياضيات في هذه الحالة معقدة جداً وخارج مجال كتابنا هذا ، واذا رغب القارىء في النظر الى بعض الحالات البسيطة التي عولجت بالطريقة الاتجاهية فعليه الرجوع الى المصدر(Born and wolf)

1 -3 معادلة فرنيل – كريشوف The Fresnel-Kirchhoff formula

نستمر فيما يلي في تطبيق معادلة كريشوف التكاملية في مسألة عامة لحيود الضوء ، ولنأخذ حالة حيود الضوء بواسطة فتحة صغيرة ذات شكل عشوائي في جسم معتم ، حيث يكون الجسم هذا حائلا بين مصدر الضوء ونقطة الملاحظة او التسلم كما في الشكل (1-4)



شكل (1-4)

المسألة الان هي تعيين الاضطراب في الضوء (Disturbance) الواصل الى نقطة P من المصدر (s) ، وبعبارة اخرى كيفية رؤية او قياس توزيع شدة الضوء في النقطة P .

عند تطبيق معادلة كريشوف نختار سطحا مغلقا يحوي على النقطة المستلمة للضوء وتكون الفتحة جزءا من السطح كما هو مبين في الشكل (1 -4) لذلك يتطلب الامر أن نفترض الفرضتين الأساسيتين التاليتين

– تكون المساهمة الفعالة للدالة (u) وانحدارها عند الفتحة (Aperture) فقط وتهمل مساهمتها في اية نقطة خارجة اخرى

– تكون قيمتا الدالة (u) وانحدارها ($grad_n\ u$) عند الفتحة مساوية لقيمتها عند عدم وجود الحاجز ، وبعبارة اخرى سواء كانت الفتحة لوحدها او في الجسم المعتم تكون القيمة للدالة هي نفسها :

وبالرغم من ان هاتين الفرضيتين معرضتان للنقد والحوار ، الا ان نتائجهما أظهرتا توافقا ممتازا مع الملاحظات العملية .

وليكن r' معبرا عن نقطة على الفتحة نسبة الى مصدر الضوء (s) كما في الشكل ،

وبذلك يمكن التعبير عن الدالة بما يلي :

$$u = u_o \frac{e^{i(kr'-\omega t)}}{r'} \quad (7-1)$$

وان هذه الدالة تمثل موجة كروية ذات لون احادي صادرة عن المصدر (S)

وبعد الاستفادة من النقاط اعلاه يمكن كتابة نظرية كيرشوف التكاملية بالشكل التالي

$$U_p = \frac{U_o\, e^{-i\omega t}}{4\pi} \iint_A \left(\frac{e^{ikr}}{r} \operatorname{grad}_n \frac{e^{ikr'}}{r'} - \frac{e^{ikr'}}{r'} \operatorname{grad}_n \frac{e^{ikr}}{r} \right) dA \quad (8-1)$$

ولنعتبر ان (n,r) تمثل الزاوية بين المتجه r والعمودي (n) على السطح التكاملي .

وبذلك يمكن ان نكتب المعادلة التالية :

$$U_P = -\frac{ikU_0e^{wt}}{4\pi}\iint_A \frac{e^{ik(r+r')}}{rr'}\left[\cos(n,r) - \cos(n,r')\right] dA$$

(9 - 1)

وتعرف هذه المعادلة بصيغة كيرشوف (Kirchhoff integral)
التكاملية وفي الحقيقة ان المعادلة (1 - 9) هي تعبير رياضي لقاعدة هايجنز .

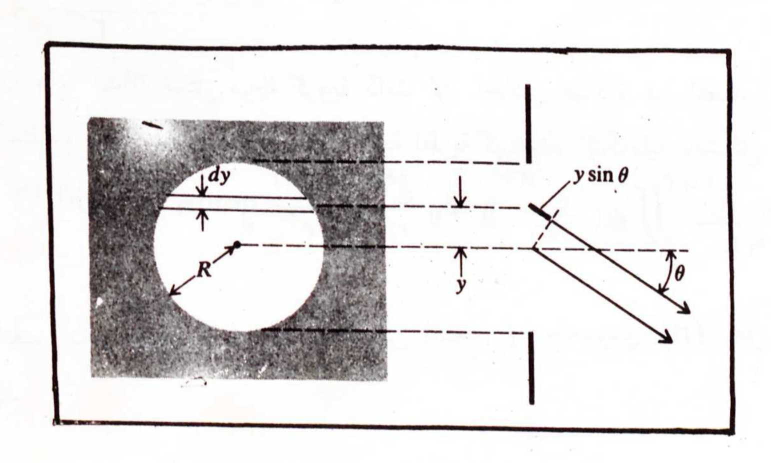
ويمكن التأكد من ذلك بتطبيق المعادلة على بعض الحالات الخاصة .مثل فتحة دائرية ، ومصدر ضوئي ذي وضع تناظري كما في الشكل (1 - 5) اذ أن الشكل يأخذ سطح التكامل في هذه الحالة على شكل نصف كروي محدد بابعاد الفتحة ، حيث يكون r' ثابتا (constant) و $\cos(n,r) = -1$ وبذلك تختزل معادلة فرنيل كيرشوف الى ما يلي .

$$U_P = \frac{-ik}{4\pi}\iint_A U_A \frac{e^{i(kr-wt)}}{r}\left[\cos(n,r) + 1\right] dA \quad (10-1)$$

حيث ان

$$U_A = U_0 \frac{e^{ikr}}{r'}$$

يمكن استنباط التفسيرات التالية من المعادلة (1 - 10) : إن UdA تمثل السعة المركبة للموجة الابتدائية الساقطة عند الفتحة ، وان كل جزء من الفتحة (dA)



شكل (1 -5)

يكون مصدرا للموجات الكروية الثانوية بالنسبة للموجة الاصلية الساقطة حيث تمثل بالمعادلة :

(الموجة الكروية الثانوية) dA $A\,e^{(kr-wt)}$

المنتجة من كل dA

لذا فأنه يمكن الحصول على التوزيع الكلي او النهائي للضوء في النقطة (P) وذلك بعملية جمع الموجات الثانوية من كل جزء من (dA) في النقطة (p) كما يجب ان نأخذ بنظر الاعتبار العامل $\cos(n,t)$ والذي يدعى في كثير من كتب الحيود بعامل الميل (obliquity factor) ، وتكون قيمة هذا العامل في المسألة الحالية مساوية $\cos(n,r)+1$. حيث ان $\cos(n,r)=1$ في اتجاه مسار الضوء ، كما يكون $\cos(n,r)=-1$ في عكس اتجاه المسار أي ان لعامل الميل قيمة تساوي 2 في الحالة الاولى (بأتجاه المسار) وتساوي صفرا في الاتجاه المعاكس وهذا ما يفسر لنا سبب عدم رجوع موجات ثانوية بالاتجاه المعاكس لجبهة الموجة ، وهذا ما أهملته قاعدة هايجنز الاصلية حيث لم تأخذ بنظر الاعتبار عامل الميل ، لذلك لم تكن قادرة على تفسير غياب الموجات في الجهة المعاكسة لجبهة الموجة .

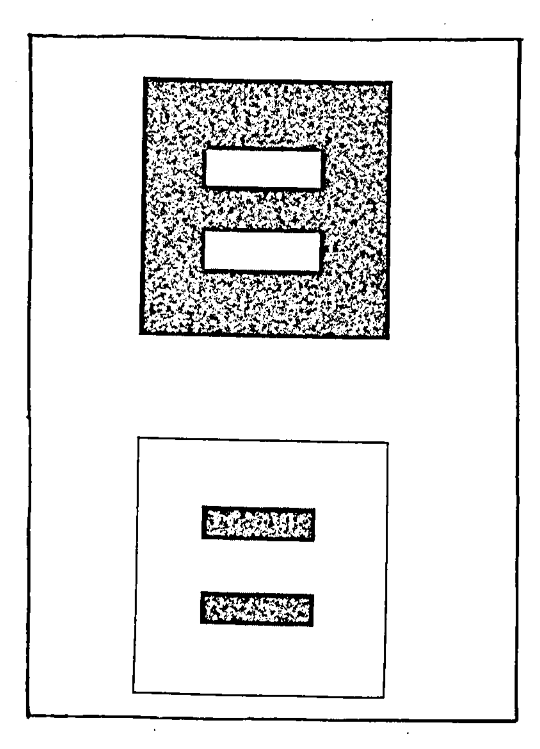
ان التفسير الفيزياوي لوجود (i) في المعادلة هو ان الموجة المحادة تختلف في الطور عن الموجة الساقطة بزاوية قدرها 90° وهذه الحقيقة كانت خافية في قاعدة هايجنز ايضا .

(1 -4) – الفتحات المكملة : قاعدة بابنيت : Complementary Apertures: Babino 's Principle

لتعتبر فتحة حيود (diffraction Aperture) A، التي تسبب اضطراباً معيناً في توزيع الضوء up وعند نقطة الملاحظة (P) ولنفرض ان هذه الفتحة قد قسمت الى قسمين A_1 و A_2 حيث ان $A \doteq A_1+A_2$ وان الفتحتين الجديدتين مكملتان لبعضهما (Complementary) كما في الشكل (1-6)

ويمكننا من قانون فرينزل – كيرشوف ان نكتب ايضا

$$U_p = U_{1p} + U_{2p} \qquad (1-11)$$



شكل (1 -6)

حيث ان $U1p$ هو الاضطراب المحدث من قبل A_1 لوحدها في النقطة P و$U2P$ هو الاضطراب المحدث من قبل $A2$ في النقطة (P) ايضا تعتبر المعادلة(1 - 11) حالة من حالات قاعدة تعرف بقاعدة بابنيت (Bapinets principle) ، حيث ان هده القاعدة مهمة جدا ونافعة في حل بعض المسائل الخاصة ، وعلى سبيل المثال ، لوكانت $up = O$

فيكون $U1p = - U2p$

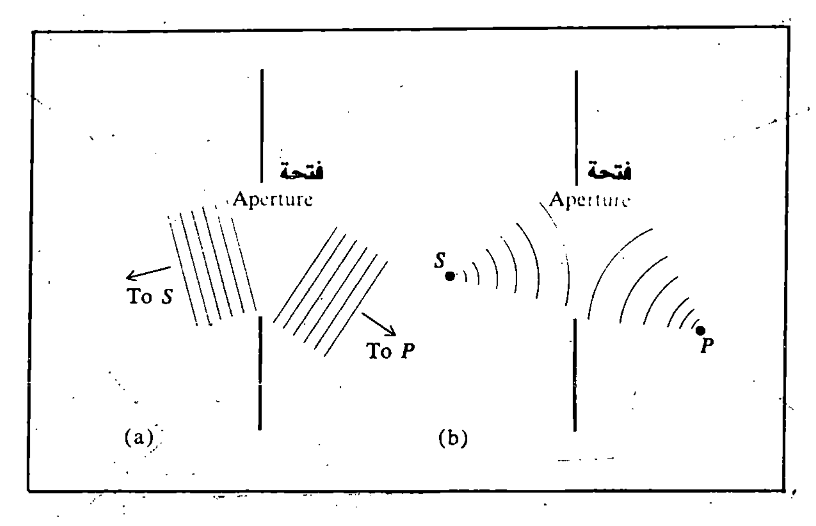
وهذا يعني ان الفتحتين تؤديان الى نفس الاضطراب ولكن بفرق طور مقداره $180°$ وبما ان شدة الضوء في (.P) هي مربع القيمة المطلقة للدالة $U1p$ و $U2p$ لذلك تكون شدتا هاتين الدالتين متساويتين عند النقطة

5-1 حيود فرانهوفر وفرنيل Fraunhoffer and Fresnel diffraction

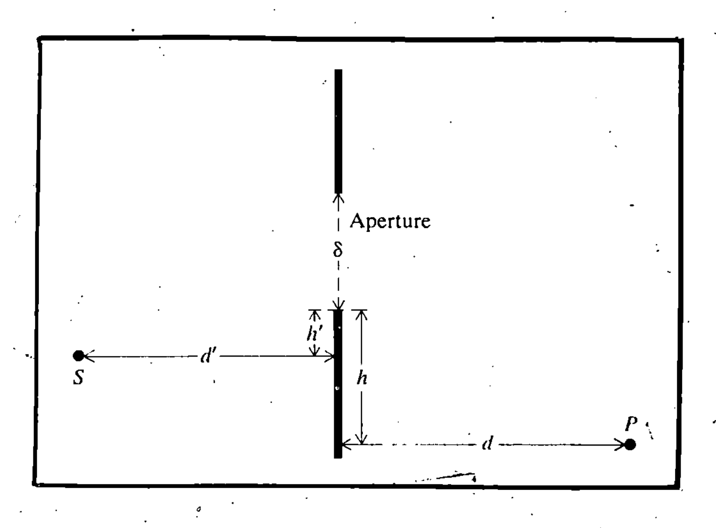
عند دراسة الحيود بشيء من التفصيل يجب ان نميز بين حالتين رئيسيتين ، وهاتان الحالتان هما ، حيود فرانهوفر وحيود فرنيل . حيث تحدث ظاهرة حيود فرانهوفر عندما تكون الموجة الساقطة (القادمة) والموجة التي حادت مستويتين ، بعبارة اخرى يكون مصدر الاضاءة ونقطة الملاحظة على بعد لا نهائي من فتحة الحيود ، وهذا يعني فيزياويا اننا نهمل الانحناء في الموجة الساقطة والتي حادت معا ، حيث يتوضح هذا النظام في الشكل (**7-1**) اما حيود فرنيل فتكون المسافة محددة بين مصدر الاضاءة ونقطة الملاحظة وجدير بالذكر انه لا يوجد فاصل حاد بين حدوث الحيود في الحالتين الانفتين ومع هذا فانه يمكن الحصول على معيار كمي يمكننا من التميز بين الاثنين الى درجة لا بأس بها. هذا المعيار يمكن استخراجه مما يأتي :

يوضح الشكل (8-1) الحالة العامة لمسألة الحيود تحليلياً ، حيث تبعد نقطة الملاحظة (p) مسافة ($\acute{d}$) من مستوى فتحة الحيود ، ويبعد مصدر الاضاءة مسافة d عن هذا المستوى كما في الشكل ، حيث ان قطر فتحة الحيود هو (δ) .

يلاحظ من الشكل (8-1) ان التغيير (Δ) في الكمية $(\acute{r} + r)$ بين نقطة على حافة الفتحة والنقطة المقابلة لها على الحافة ايضا هو :



شكل (7-1)



شكل 8-1

$$\Delta\ (\text{التغيير}) = \sqrt{d'^2 + (h'-\delta)^2} + \sqrt{d^2 + (h+\delta)^2} - \sqrt{d'^2 + h'^2} - \sqrt{d^2 + h^2}$$

$$\Delta = \left(\frac{h'}{d'} + \frac{h}{d}\right)\delta + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{d'} + \frac{1}{d}\right)\delta^2 + \cdots\cdots$$

ويكون الحد الذي يحتوي على عامل الدرجة الثانية (quadratic) في المعادلة اعلاه هو الذي يعبر عن درجة انحناء جبهة الموجة ، فجبهة الموجة تكون مستوية عند فتحة الحيود ، اذا كان هذا الحد صغيرا جدا مقارنة بطول موجة الضوء ، بعبارة اخرى اذا كان :

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{d'} + \frac{1}{d}\right)\delta^2 << \lambda \qquad (12\text{-}1)$$

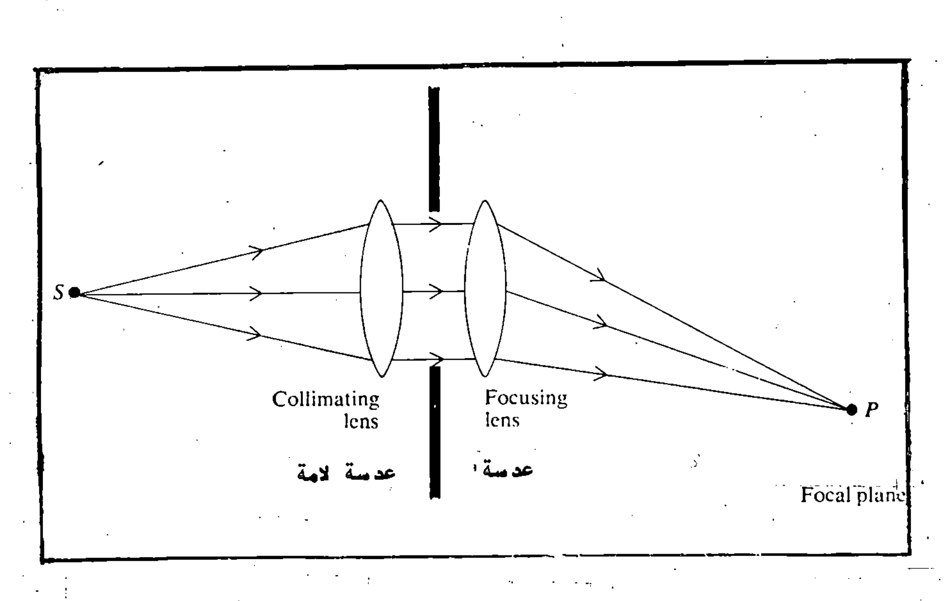
يكون الحيود الحاصل حيود فرانهوفر ، وعند عدم تحقق هذا الشرط يكون انحناء جبهة الموجة عند فتحة الحيود كبيرا نسبيا وعندها يكون الحيود حيود فرنيل .

سنناقش فيما يلي الحيود بنوعيه من اشكال مختلفة للفتحات وسنبدأ بحيود فرانهوفر لبساطة حساباته الرياضية .

6-1 نمط حيود فرانهوفر Fraunhoffer Diffraction Pattern

يمكن الحصول على نمط فرانهوفر من الترتيب المبين في الشكل (9-1) حيث تضاء فتحة الحيود بواسطة مصدر اضاءة أحادي الموجة (أي ان حزمة الضوء عند الفتحة متشاكهه (coherent) ، وهناك عدستان بين مصدر الضوء والفتحة واخرى بين الفتحة ونقطة الملاحظة ، لذلك تكون جبهتا الموجتين الساقطة والحادة مستويتين فيتوقع اذا حيودا من نوع فرانهوفر وبتطبيق معادلة فرانهوفر – كريشوف (المعادلة 1-12) لحساب نمط الحيود من الفتحات او الشقوق ذات الاشكال المختلفة ، وبفرض ان الانتشار الزاوي للحزم الضوئية المحادة قليل نسبيا ، حيث يكون عامل الميل ثابتا عند الفتحة ، فيمكننا حينئذ كتابة المعادلة بالشكل التالي :-

$$U_p = C \iint_A e^{ikr} \, dA \qquad (13-1)$$



شكل (9-1)

حيث عبرنا عن جميع الثوابت بثابت واحد هو C وتعني المعادلة اعلاه انه يمكن الحصول على توزيع الحزم الضوئية التي حادت من عمليات تكامل عامل الطور e^{ikr} عند فتحة الحيود .

1.6.1 الشق المنفرد : The Singlel Slit

نعالج هنا حالة الحيود من الشق المنفرد الضيق على اعتبار انها ذات بعد واحد ، وليكن الشق ذات طول (L) وعرض (b) ، فتكون عامل تغير المساحات $dA = L dy$ كما مبين في الشكل (10-1) ويمكن التعبير عن (r) بالشكل التالي :

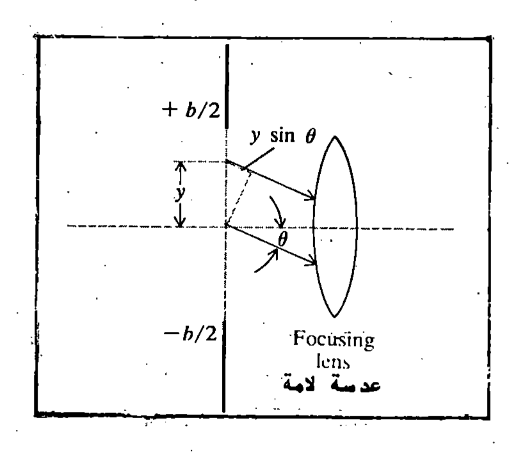
$$r = r_0 + y \sin\theta$$

حيث (ro) هو قيمة r عندما تكون $r = 0$

وبأستعمال المعادلة (10-1) في هذه الحالة نحصل على ما يلي

$$U = C\, e^{ikr_0} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} e^{iky\sin\theta} L\, dy$$

$$U = 2C\, e^{ikr_0} L \frac{\sin(\frac{1}{2} k b \sin\theta)}{k \sin\theta} = C' \frac{(\sin\beta)}{\beta} \qquad (11-1)$$



شكل (10- 1)

حيث

$$\beta = \frac{1}{2} Kb \sin\theta$$

وان
$$C' = \frac{CbLe^{iKr_0}}{2}$$

وبذلك تكون الكمية ($\frac{\sin\beta}{\beta}$) C' هي السعة **(Amplitude)** الكلية للحزمة الضوئية التي حادت باتجاه ما مثل β ، وتجمع هذه الحزم بواسطة العدسة الثانية كما هو واضح في الشكل ، ويتعين توزيع السطوع في المستوى البؤري لهذه العدسة ، في المعادلة التالية :

$$I = |U_0|^2 = I_0 \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \qquad \textbf{(15-1)}$$

حيث :

$$I_0 = (C\,Iby)^2$$

وهذه الكمية تمثل شدة الضوء في حالة $(\theta = 0)$

رسمت المعادلة **15-1** في الشكل (11-1) ، وتحصل القيمة العظمى **(maximum)** لهذه الدالة عند ($\theta = 0$) وتكون صفرا عندما تكون

$$\beta = \pm\pi , \pm 2\pi , \ldots$$

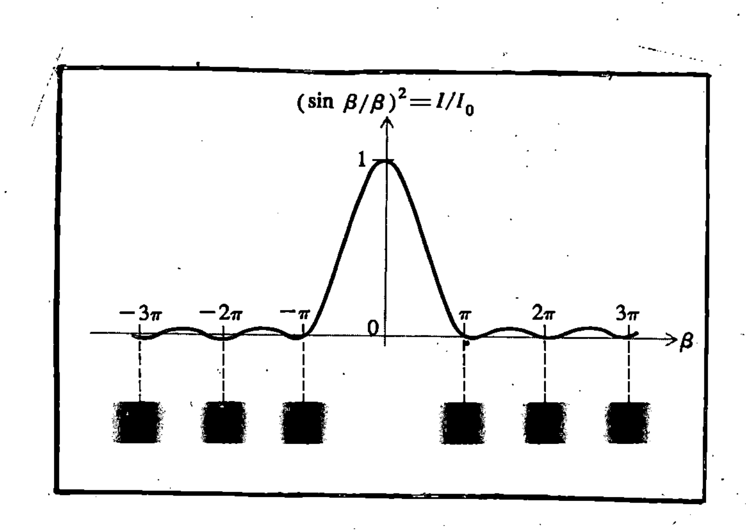
وللدالة قيم عظمى ثانوية ايضا سرعان ما تضمحل شدتها ، ويكون موقعها بالطبع بين قيمة الصفر المتتالية للدالة كما هو موضح في الشكل .

واذا رغبنا في تسجيل نمط الحيود المبين في الشكل (1 -11) على لوح فوتوغرافي فستظهر منطقة مضاءة (Bright) في مركز النمط محاطة من الجهتين بمناطق معتمة ومضاءة على التعاقب ، وتختلف شدة توزيع الاضاءة في المناطق المضاءة كما هو مبين في الجدول (1-1) الذي يبين القيم النسبية

تحدث المنطقة المظلمة الاولى (او القيمة الدنيا الاولى للدالة) عندما تكون وبعبارة اخرى ،

$$\sin\theta = \frac{2\pi}{Kb} = \frac{\lambda}{b} \qquad (16-1)$$

نستنتج اذا من المعادلة (**16 - 1**) حقيقة مهمة وعملية وهي ان العرض الزاوي لنمط الحيود يتناسب عكسيا مع عرض الشق (slit) ، وتتناسب سعة الدالة لمنطقة الحيود المركزية (الوسطى) مع مساحة الشق ، حيث يضيق نمط الحيود وتزداد شدته كلما زاد عرض الشق .



شكل (11- 1)

The Rectangular Aperture : فتحة الحيود المستطيلة 2.6.1

سنعالج مسألة الحيود من فتحة مستطيلة بنفس الطريقة التي أتبعت في حالة الشق المنفرد ، عدا اننا سنجري عملية التكامل ببعدين بدلا من بعد واحد ، وليكن البعدان x وy كما هو الحال في الشكل (1-13)

ان شدة الضوء المحادة من هذه الفتحة هو عبارة عن حاصل ضرب دالتي توزيع شدة الاضاءة من حيود شقين منفردين (two-single slits)

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \qquad (17\text{-}1)$$

وتكون النتيجة هي :

حيث

$$\alpha = \frac{1}{2} K a \sin\Phi$$

$$\beta = \frac{1}{2} K b \sin\theta$$

وان a و b هما طول وعرض الفتحة على التوالي .

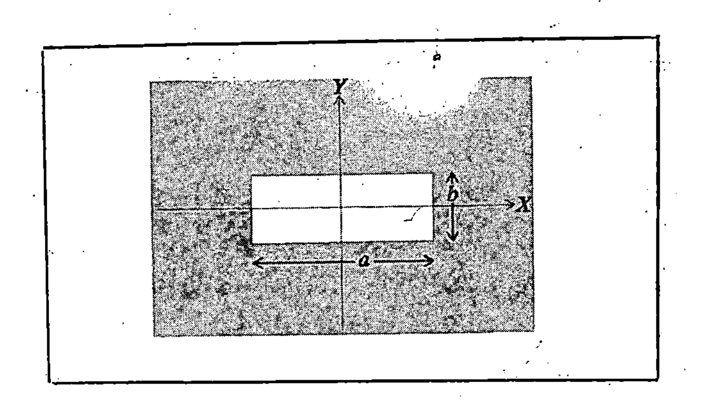
θ وΦ هما اتجاها الحزم الضوئية التي حادت .

عند رسم الدالة (1-17) نحصل على توزيع الشدة كما في الشكل (1-14) حيث تقع قيم الصفر في هذه الدالة عندما تكون :—

$$\alpha = \pm\pi, \pm 2\pi, \ldots$$

$$\beta = \pm\pi, \pm 2\pi$$

تتناسب مساحة الحيود عكسياً مع ابعاد الفتحة كما هي الحالة في الحيود من شق منفرد .



شکل 13-1

$$\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\frac{\sin B}{\quad}\right)^2 = I/I_0$$

شکل 14-1

3-6-1 الفتحة الدائرية Circular Aperture

لكي نحسب نمط الحيود من فتحة دائرية تختار متغيراً واحداً مثل (y) لاجراء عملية التكامل كما هي الحالة في الحيود من شق منفرد.

ولنفرض ان نصف قطر الدائرة (R) . عندئذ يكون عنصر المساحة شريطاً عرضه dy وطوله $2\sqrt{R^2-y^2}$ كما هو في الشكل (1 -5). يمكن التعبير عن توزيع سعة نمط الحيود

كما يلي :

$$u = c\, e^{ikr_0} \int_{-R}^{R} e^{iky\sin\theta}\, 2\sqrt{R^2-y^2}\, dy$$

ونعوض عن $u = R/y$

و $e = kR\sin\theta$

فنحصل على :

$$\int_{-1}^{+1} e^{ie\sqrt{1-\mu^2}}\, du$$

تعتبر هذه المعادلة من المعادلات القياسية وقيمتها $\frac{\pi J_1(e)}{e}$ حيث J_1 هي دالة بزل (Bessel function) من الدرجة الاولى

وتقترب النسبة $\frac{J_1(e)}{e} \longrightarrow \frac{1}{2}$ عندما $e \longrightarrow 0$

وبذلك تكون شدة دالة الضوء في نمط الحيود هي :

$$I = I_0 \left[\frac{2J_1(e)}{e}\right] \qquad 18\text{-}1$$

حيث $I_0 = (C\pi R^2)^2$ ، وهي قيمة الشدة عند $\theta = 0$ وقد رسم توزيع شدة الحيود الممثلة في الدالة (1 - 18) في الشكل (1 - 15) ويكون نمط الحيود دائري التناظر ويحتوي على مناطق دائرية متمركزة مضاءة تتضاءل شدتها بسرعة كبيرة

ويدعى القرص الوسطي المضاء ، بقرص ايري (Airy disk) ، حيث ان هذا القرص مبين في الشكل (15-1) ، ويمتد هذا القرص حتى الحلقة المظلمة الاولى (first dark ring) ، التي يتحدد حجمها بالقيمة الصفرية الاولى لدالة بزل ، اي ان :-

$$\rho = 3.832$$

وبذلك يكون نصف القطر الزاوي للحلقة المظلمة الاول هو :

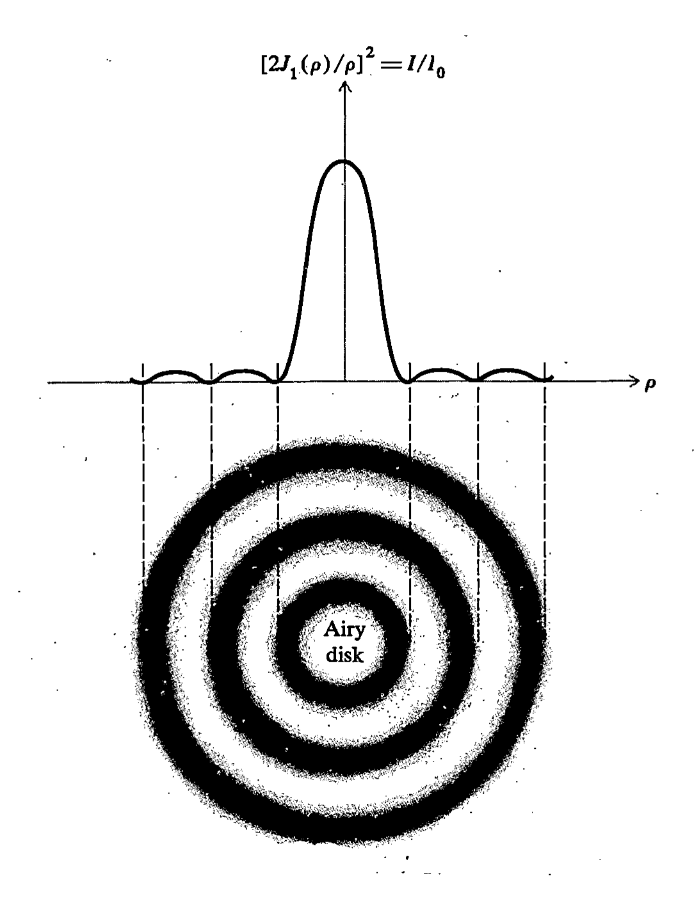
$$\sin\theta \simeq \theta = \frac{3.832}{KR} = \frac{1.22\lambda}{D}$$

حيث $D = 2R$ والتي تمثل قطر الفتحة الدائرية .

ان الحجم الزاوي لقرص أيري اكبر قليلا من القمة المناظرة $\frac{\lambda}{b}$ للمنطقة المضادة المركزية في الفتحة المستطيلة .

ندرج في الجدول (١) قيم الشدة النسبية للمناطق التي تكون فيها الدوال ذات قيم عظمى في حالتي الفتحة المستطيلة والدائرية .

يبين الجدول (1) القيمة النسبية العظمى للحيود من الفتحات المستطيلة والدائرية



شكل (15-1)

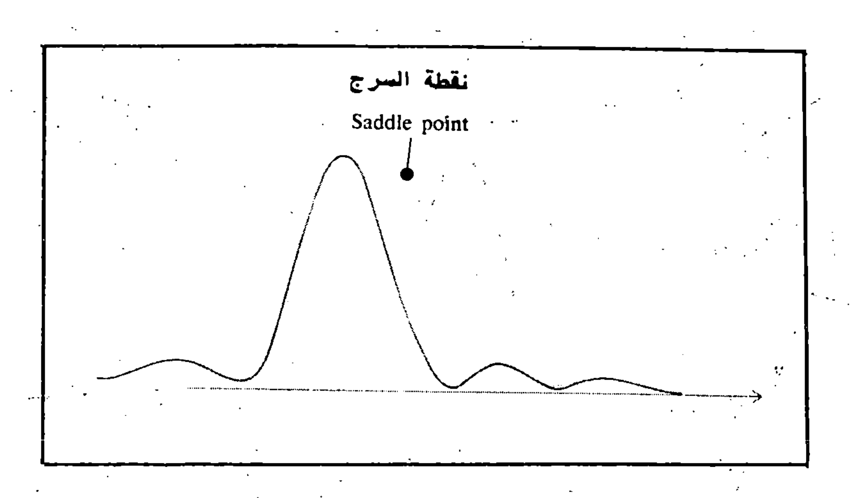
جدول (1-1)

درجة منطقة الحيود	الفتحة الدائرية	الفتحة المستطيلة
العظمى الوسطية	1	1
العظمى الاولى	0.0174	0.0496
العظمى الثانية	0.0042	0.0168
العظمى الثالثة	0.0016	0.0088

7- 1 التحليل البصري : Optical Resolution

تعتبر الصورة المتكونة في المستوى البؤري لمصدر بعيد لعدسة تلسكوب او كامرة هي صورة نمط حيود فرانهوفر ،. وتعتبر العدسة هي فتحة الحيود ، لذلك تكون الصورة للجسم المركب (متعدد الاجزاء) هي في الحقيقة جمع متراكب (superposition) لاقراص ايري (Airy disk) ، لذلك يكون التحليل (التمييز بين التفاصيل معتمدا على حجم اقراص أيري كل على انفراد .

فاذا كان قطر العدسة (D) فأن نصف القطر الزاوي لقرص ايري هو $\frac{1.22}{D}$ تقريبا ، وهذه الكمية هي في الحقيقة اصغر مسافة بين القيمتين العظيمتين في نمط الحيود من مصدرين نقطيين ، يمكن التميز بينهما وكأنهما مصدران منفصلان (Just resolved) وتمثل هذه الحالة انطباق القيمة العظمى الوسطية لحيود احد المصدرين على القيمة الدنيا الاولى لحيود المصدر الثاني ، كما هو مبين في الشكل (16-1) وتعتبر المسافة بين المصدرين في هذه الحالة هي ادنى مسافة يظهر بهـا المصدران منفصلين ويعرف هذا المعيار بمعيار ريلى .



شكل 16-1

ان معيار ريلي (Rayleigh) لا يعطي قيمة مطلقة للمسافة بين القيمتين كشرط للتحليل ولكنه يستعمل في اغلب الحالات العملية نظرا لبساطته ونجاحه في تفسير النتائج العملية .

وتكون المسافة الدنيا في حالة الحيود من فتحة مستطيلة حسب معيار ريلي هي $\frac{\lambda}{b}$ وكما هو معروف ان b هو عرض الفتحة و λ هي الطول الموجي للضوء ، وتكون قيمة الشدة 2 لنقطة السرج في الحالة هذه هي

$$\frac{8}{\pi^2} = 0.81$$

أي 81 بالمائة من قيمة الشدة العظمى ، ونترك اثبات ذلك كتمرين للقارىء

8-1 الحيود من فتحة ذات شقين The double slit

لنعتبر مسألة الحيود من فتحة ذات شقين ، حيث ان عرض الشق الواحد هو b والمسافة بينهما هي h كما في الشكل (17-1) ومن الممكن اعتبار هذه المسألة كمسألة ذات بعد واحد كما الحالة في فتحة الحيود ذات الشق المنفرد وبذلك تكون معادلة التكامل كما يلي :

$$\int_A e^{iky\sin\theta}\,dy = \int_0^b e^{iky\sin\theta}\,dy + \int_h^{h+b} e^{iky\sin\theta}\,dy$$

$$= \frac{1}{ik\sin\theta}\left[e^{ikb\sin\theta} - 1 + e^{ik(h+b)\sin\theta} - e^{ikh\sin\theta}\right]$$

$$= \left(\frac{e^{ikb\sin\theta} - 1}{ik\sin\theta}\right)\left(1 + e^{ikh\sin\theta}\right)$$

$$= 2b\,e^{i\beta}\,e^{i\gamma}\,\frac{\sin\beta}{\beta}\cos\gamma \qquad (19 - 1)$$

حيث

$$\beta = \frac{1}{2}\,kb\,\sin\theta$$
$$\gamma = \frac{1}{2}\,kh\,\sin\theta$$

. . وبذلك يمكن كتابة دالة توزيع شدة الضوء في نمط الحيود من فتحة ذات شقين كما يلي :

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \cos^2\gamma \qquad (20\text{-}1)$$

لقد سبق وان حصلنا على العامل $\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$ في حالة الحيود من الشق المنفرد ، حيث يكون هذا العامل هنا غلافا لاهداب الحيود الناتجة من العامل $\cos^2\gamma$. والشكل (18-1) يبين رسم الدالة (20-1) حيث تنطبق المواقع الزاوية للاهداب المضاءة (Bright frings) مع قيم (γ) التالية .

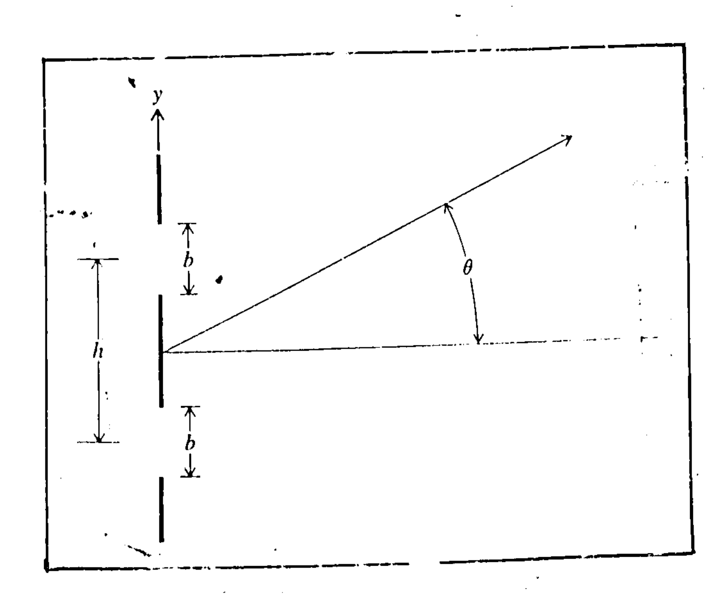
$$\gamma = 0 \;,\; \pm\pi \;,\; \pm 2\pi \;, \ldots\ldots$$

وتكون المسافات الزاوية التقريبية الفاصلة بين الاهداب هي $\Delta\gamma = \pi$

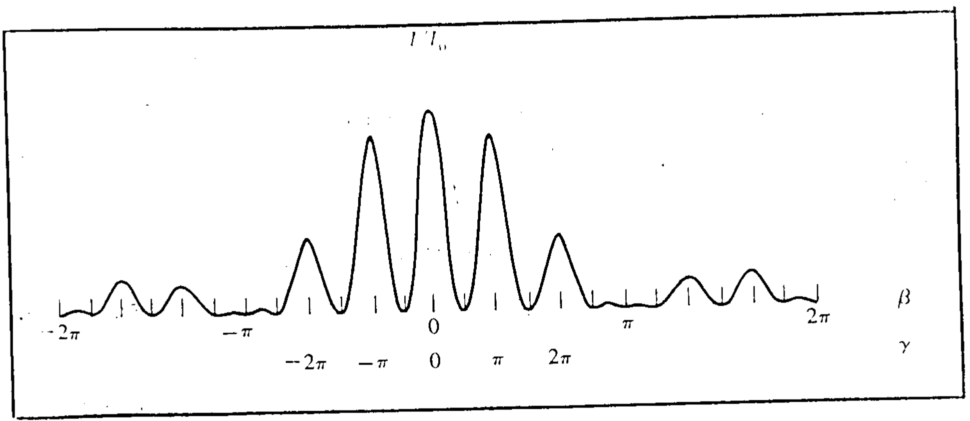
ويمكن التعبير عن هذه المسافات بدلالة (θ) بالشكل التالي

$$\Delta\theta = 2\,\frac{2\pi}{Kh} = \frac{\lambda}{h}$$

وهذا يعنى ان المسافات الفاصلة بين اهداب الحيود تتناسب مع طول الموجة وعكسيا مع المسافة بين الشقين .



شكل (17-1)



شكل 18-1

شكل 19-1

9-1 الشقوق المتعددة (محزز الحيود) :

Multiple slits (Diffraction gratings)

لتكن فتحة الحيود في هذه الحالة هي عبارة عن محزز (grating) اي انها تتكون من عدد N من الشقوق المتشابهة والمتوازية ، وليكن عرض الشق (b) ، والمسافة بين شقين متتاليين هي (h) ، كما هو موضح في الشكل (19-1) . سنكتب تكامل المعادلة الخاصة بمحزز الحيود بطريقة تشبه تلك التي اتبعت في حالة فتحة الحيود ذات الشقين .

$$A\int e^{iKy\sin\theta}\,dy = \int_a^b + \int_h^{h+b} + \int_{2h}^{2h+b} + \cdots + \int_{(N-1)h}^{(N-1)h+b} e^{iKy\sin\theta}\,dy$$

$$= \frac{e^{iKb\sin\theta}-1}{iK\sin\theta}\left[1 + e^{iKh\sin\theta} + \cdots\cdots e^{iK(N-1)h\sin\theta}\right]$$

$$= \frac{e^{iKb\sin\theta}-1}{iKb\sin\theta} \times \frac{1-e^{iKN\sin\theta}}{1-e^{iKh\sin\theta}}$$

$$= b\,e^{i\beta}\,e^{i(N-1)\gamma}\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)\left(\frac{\sin N\gamma}{\sin\gamma}\right) \quad \text{------------ (21-1)}$$

حيث ان

$$\beta = \frac{1}{2}Kb\sin\theta \quad , \quad \gamma = \frac{1}{2}Kh\sin\theta$$

وبذلك يكون توزيع شدة الضوء في نمط الحيود كما يلي :-

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \left(\frac{\sin N\beta\gamma}{N\sin\gamma}\right)^2 \qquad (22\text{-}1)$$

حيث ادخل العامل (N) لغرض تعيير (Normalizing) المعادلة ، ولكي يكون $I = I_0$ عند $\theta = 0$. ويظهر عامل الشق المنفرد $\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$ هنا مرة اخرى ، ويكون الغلاف لاهداب نمط الحيود .

تحدث القيمة العظمى الرئيسة للدالة داخل الغلاف عندما $\gamma = n\pi$

حيث $n = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

ويمكن وضع هذا الشرط بشكل اوضح كما يلي :

$$h \sin\theta = n\lambda$$

وتدعى هذه المعادلة بمعادلة محزز الحيود ، والعدد الكامل n يمثل رتبة الحيود

تحدث القيم العظمى الثانوية للدالة في المواقع الزاوية التالية :

$$\gamma = \frac{3\pi}{2N} \quad , \quad \frac{5\pi}{N}$$

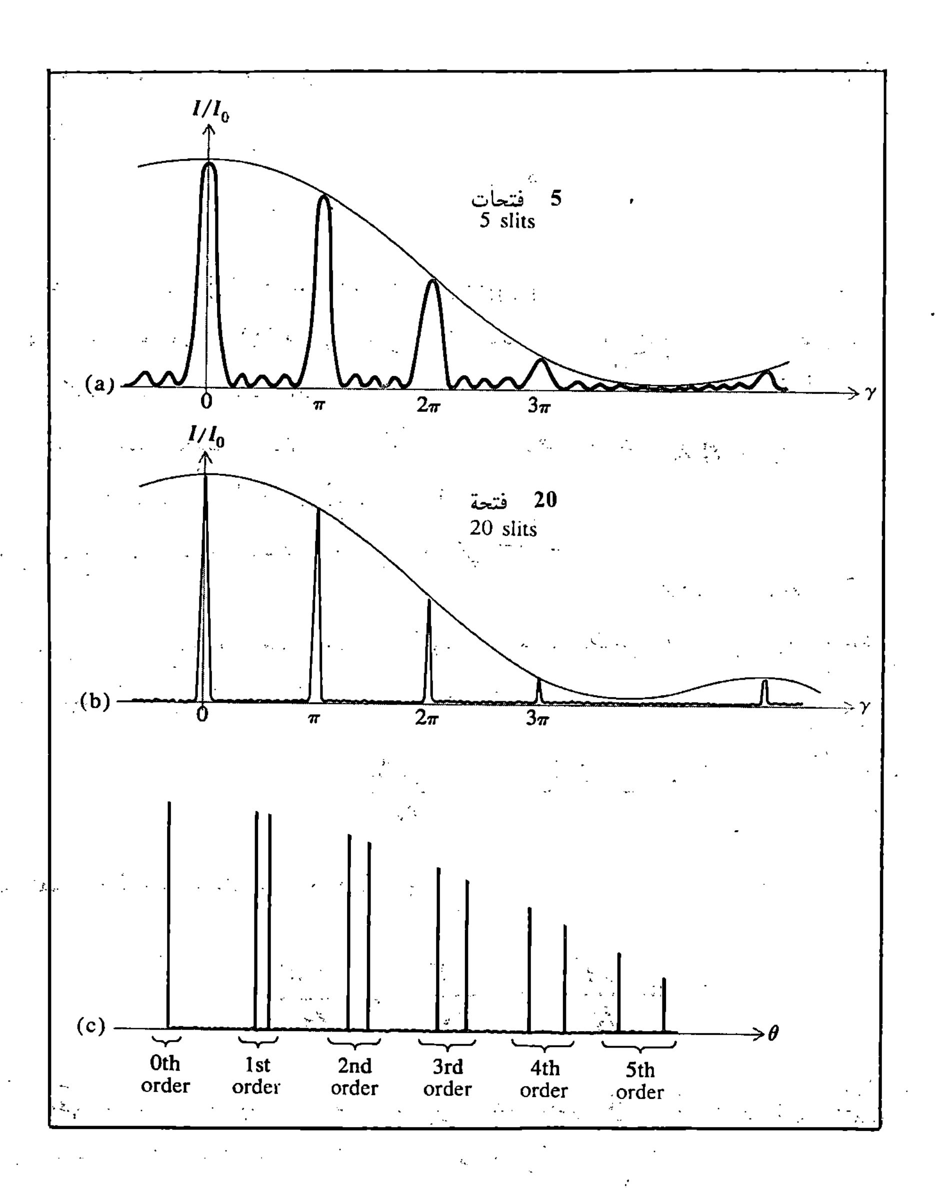
والقيم الصفرية للدالة تكون في المواقع الزاوية

$$\gamma = \frac{\pi}{N} \quad , \quad \frac{2\pi}{N} \quad , \quad \frac{3\pi}{N}$$

وقد رسمت دالة توزيع شدة الضوء في نمط الحيود في حالة المخزز في الشكل (20-1) فاذا كانت الشقوق ضيقة جدا ، فعندها يكون

$$\frac{\sin\beta}{\beta} \simeq 1$$

وهذا يعني ان بعض القيم العظمى الرئيسة الأولية تكون ذات شدة متساوية الى حد ما وقيمتها تقترب من I_0



I/I_0
5 فتحات
5 slits
(a)
0
π
2π
3π
γ
I/I_0
20 فتحة
20 slits
(b)
0
π
2π
3π
γ
(c)
θ
0th order
1st order
2nd order
3rd order
4th order
5th order

شكل 20-1

1-9-1 القوة التحليلية للمحزز : Resolving power of grating

تدعى المسافة بين القيمة العظمى الرئيسة في الدالة والقيمة الدنيا التي تليها بالعرض الزاوي للقيمة العظمى الرئيسة :

(Angular width off the principle fringe)

ويمكن ايجاد العرض الزاوي هذا كميا ، وذلك بجعل التغيير في N يساوي π اي ان :-

$$\Delta\gamma = \frac{\pi}{N} = \frac{1}{2} Kh \cos\theta \, \Delta\theta$$

وهذه الكمية تقابل

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Nh\cos\theta} \qquad (23\text{-}1)$$

وهذا يعني اذا كان عدد الشقوق N كبيرا جدا ، فتكون $\Delta\Theta$ صغيرة جدا وبذلك يتكون نمط الحيود من سلسلة اهداب (fringes) متتالية ومحددة وحادة (sharp) ذات رتب متتالية ، .. $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, ----$

كما في الشكل (c , b , 20) .

ومن جهة اخرى تكون علاقة او اعتماد θ على طول الموجة λ ولأي مرتبة من مراتب الحيود يتعين من تفاضل المعادلة

$$n\lambda = d \sin\theta$$

حيث نحصل على ما يلي :

$$\Delta\theta = \frac{n\Delta\lambda}{h\cos\theta} \qquad (24\text{-}1)$$

حيث تعطي المسافة الزاوية بين خطين في الطيف يختلفان بالطول الموجي بمقدار $\Delta\lambda$.
ومن المعادلتين (1-23) و (1- 24) يمكن الحصول على القوة التحليلية (grating spectroscope) حسب معيار ريلي بالشكل التالي :

$$R.P = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN \qquad (25\text{-}1)$$

تصنع محززات الحيود بعدة اشكال ، منها نوع السطوح الشفافة (نفـــاد) (trsnsmission type) ، نوع السطوح العاكسة (Reflection type) ، ويختلف عدد الشقوق في المحزز ، ويمكن الحصول على محزز ذات 600 خط / ملم وبحجم 10 سم ، وهذا يعني ان المحزز يحوي على 60000 خط او شق .

ما تقدم كان بعض التطبيقات البسيطة لحيود فرانهوفر ، وسنشرح شيئا عن حيود فرنيل بشكل مختصر .

1 - 10 نمط حيود فرنيل : Fresnl Diffraction Pattern

لقد سبق وان قلنا في بداية هذا الفصل او في الحقيقة وضعنا معيارا يحدد نوع الحيود ، وحالة حيود فرنيل هي الحالة التي يكون فيها مصدر الاضاءة او شاشة الملاحظة اوكلاهما قريبين من فتحة الحيود ، وهذا يؤدي بالطبع الى انحناء في جبهة الموجة الساقطة على الفتحة او الحائدة منها .

ان الرياضيات المعنية في معالجة حيود فرنيل اكثر صعوبة من السابقة حيث اننا لا نتعامل مع موجات مستوية في هذه الحالة ولكن احداث حيود فرنيل عملياً وملاحظته

أسهل بكثير من حالة حيود فرانهوفر الذي تحتاج الى مصدر اضاءة ، فتحة حيود وشاشة ملاحظة :

وسنحاول شرح مثال مهم جدا لحيود فرنيل بحيث يمكن معالجته بالرياضيات الاعتيادية .

1.10.1 مناطق فرنيل : Fresnel zones

لنعتبر فتحة حيود مستوية (Plane aperture) مضاءة بمصدر ضوء نقطي S (Point Source) كما في الشكل (21-1) حيث يكون الخط المستقيم الذي يربط بين المصدر (S) وبين نقطة الملاحظة (P) عمودياً على مستوى فتحة الحيود.

ولنجعل (O) نقطة تقاطع الفتحة مع الخط (SP)

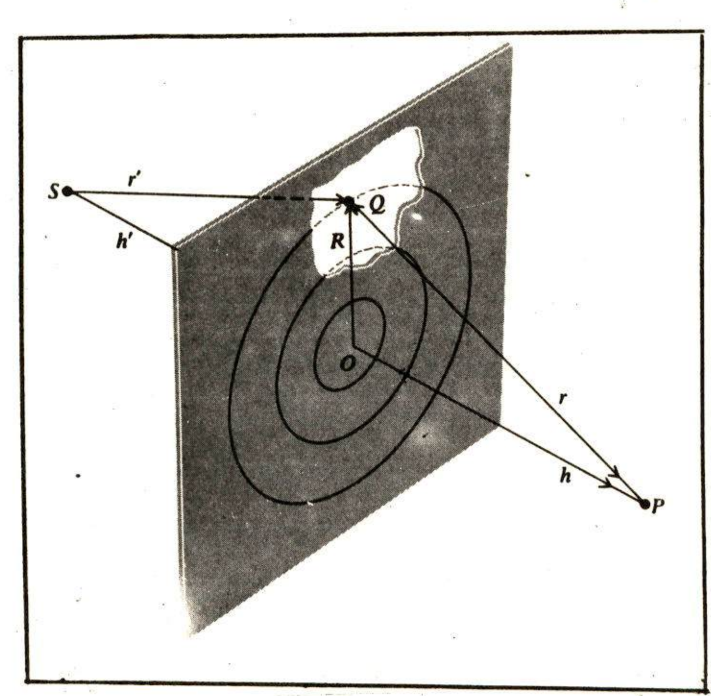
ولتكون R المسافة من (O) الى اي نقطة مثل (Q) في مستوى الفتحة ، يمكن التعبير عن المسافة $PQS = r + r'$ بدلالة R على الشكل التالي ؛

$$r + r' = (h^2 + R^2)^{1/2} + (h'^2 + R^2)^{1/2}$$

$$= h + h' + \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{h'} \right) \text{-----} \qquad (26\text{-}1)$$

حيث h و h هما المسافتان op و os على التوالي.

ولنفرض الآن ان فتحة الحيود قد قسمت الى مناطق محددة بالدوائر ، المتمركزة



شكل (1 -21)

بحيث تكون R ثابتة بينما المسافة $r + r'$ تختلف من حدود منطقة الى حدود المنطقة التي تليها بكمية مقدارها نصف طول الموجة ($\frac{1}{2}\lambda$) .

وبذلك تكون لدينا مناطق محددة تدعى بمناطق فرنيل (   )

وباستعمال المعادلة (26-1) تكون انصاف اقطار المناطق المتتالية هي :

$$R_1 = \sqrt{\lambda L} \quad , \quad R_2 = \sqrt{2\lambda L}$$

$$R_n = \sqrt{n\lambda L}$$

حيث λ هي الطول الموجي و L هي

$$L = \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{h'} \right)^{-1}$$

فاذا فرضنا ان R_n هي نصف القطر الداخلي و (R_{n+1}) هي نصف القطر الخارجي للمنطقة n من مناطق فرنيل ، لكانت المساحة لهذه المنطقة

$$\pi R_{n+1}^2 - \pi R_n^2 = \pi R_1^2$$

ويظهر من هذا ان النتيجة لا تعتمد على (n) ، اي درجة المناطق ، وبعبارة اخرى فأن مساحات مناطق فرنيل تكون جميعها متساوية . او من الممكن حساب مساهمة المناطق المختلفة في توزيع الضوء في نمط الحيود في النقطة (P) في مستوى الفتحة ، حيث ستسهم الدوال بها .

$$u_1, u_2, u_3, \ldots\ldots,$$

وبما ان فرق الطور بين منطقة والتي تليها هو $180°$ فستكون المساهمات لسعة الضوء الحائدة في النقطة P (U_p) بالشكل التالي :

$$U_p = |U_1| + |U_2| + |U_3| - \quad (27\text{-}1)$$

واذا فرضنا ان الفتحة هي دائرية متمركزة في (O) وان هذه الفتحة تحوي على عدد n من المناطق الكاملة ، وبما ان المساحات لهذه المناطق متساوية كما ذكرنا اعلاه ، فستكون قيم $|U|$ متساوية ايضا . وهذا يعني ان المجموع في (27-1) سيكون صفرا عندما يكون الرقم n زوجيا ومساويا لاحد قيم $|U|$ مثل $|U|$ عندما يكون (n) فرديا .

ونتيجة لتأثير عامل الميل في معادلة فرنيل كيرشوف اضافة الى عامل المسافة القطرية تقل قيمة $|U_n|$ تدريجيا كلما كبر العدد (n) ، وكنتيجة لذلك عندما $n \longrightarrow \infty$ فتكون مجموع المساهمات من فتحة كبيرة المساحة في نقطة (P) أي الحالة التي لا توجد بها فتحة هي $\frac{1}{2}$ المساهمة من النقطة الاولى $(n = 1)$ لوحدها .

ولاثبات ذلك ولو بشكل وصفي نعيد ترتيب المعادلة (27-1) على الشكل التالي :

$$|U_p| = \frac{1}{2}|U_1| + \left(\frac{1}{2}|U_1| - |U_2| + \frac{1}{2}|U_3|\right) + \left(\frac{1}{2}|U_3| - |U_4| + \frac{1}{2}|U_5|\right)$$

$$- + - - - - - \quad (28\text{-}1)$$

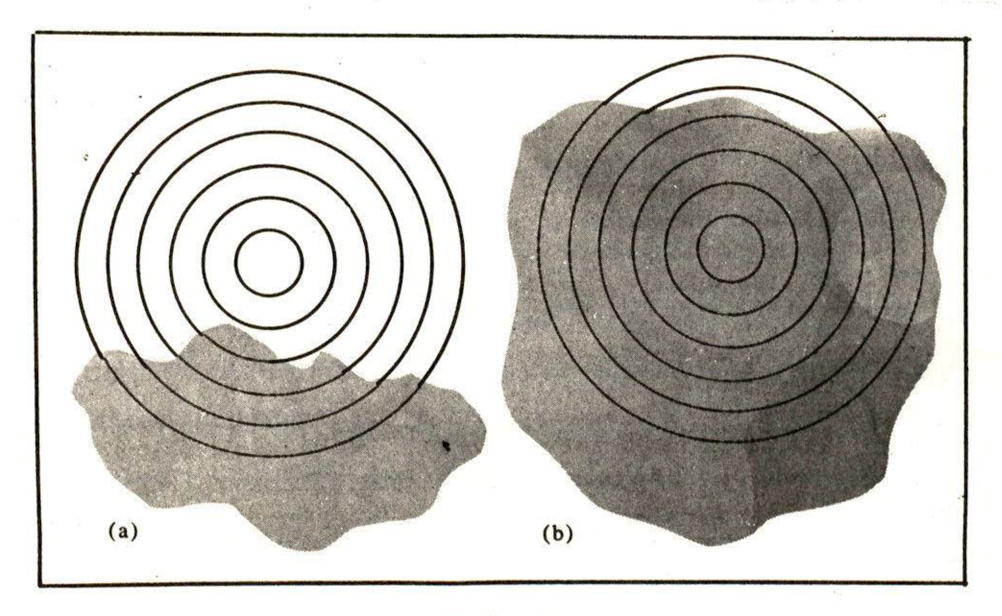
وبعد هذا الترتيب نقول اذا كان النقصان في (U_p) مع زيادة (n) بطيئاً جدا فستكون قيمة اي $|U_n|$ تساوي معدل قيمتي $|U_n|$ المجاورتين مثل U_{n_1} و U_{n_2} وبذلك ستختزل الكميات المحصورة بين قوسين في المعادلة (28-1) ، حيث تكون القيمة هي $\frac{1}{2}U_1$ في المنطقة P عندما لا يكون هناك فتحة على الاطلاق .

ولو فرضنا الآن انه لدينا جسماً دائرياً حاجباً للضوء (Obstacle) بدلا من الفتحة (Aperture) فستتعين مناطق فرنيل في هذه الحالة ابتداءا من حافة الجسم المعوق (edge of obstacle) وتكون قيمة $|U_p|$ هي $\frac{1}{2}U_1$ كما هي الحالة في المثال السابق ، ونتيجة لذلك سيكون مركز الظل للجسم العاتم نقطة مضاءة ذات شدة تساوي حالة عدم وجود الجسم العاتم على الاطلاق .

في حالة كون الجسم العاتم او الفتحة ذات تركيب غير منتظم (inregular) فستظهر مناطق فرنيل للناظر من نقطة (P) كما في الشكل (1-22) . وكما هو واضح في الشكل (a) تكون المناطق الخارجية معزولة جزئيا ، وهذا يعني ان الحدود ذات العوامل الكبيرة في المعادلة (1-27) تتضاءل بسرعة عند عدم وجود عائق .

بينما الحدود الاولى لا تتأثر وبذلك يكون التغير في قيمة Up قليلاجدا وفي الجزء (b) في الشكل (1-22) تكون المناطق الداخلية او الاعلى معيقة ، بينما تبقى المناطق الخارجية معيقة جزئيا ، وهذا يعني ان الحدود في المعادلة (1-28) تتضاءل في نهايتي المعادلة وتكون النتيجة الاختزال الكامل للحدود تقريبا ، ويمكن ان نستنتج مما تقدم ما يلي :-

اذا كانت النقطة (P) في منطقة مضاءة فسوف لا يؤثر وجود الجسم العاتم بينما اذا كانت P في منطقة الظل فسيكون التوزيع البصري قليلا جدا وهذا ينطبق مع قوانين البصريات الهندسية ، حيث ستظهر اهداب الحيود حول الظل فقط في حالة عدم انتظام حافات الجسم التي تكون اصغر بكثير من نصف قطر منطقة فرنيل الاولى .



شكل . (1-22)

11-1 الصفيحة ذات المناطق Zone Plate

لقد تكلمنا في البند السابق عن مناطق فرنيل وكيفية مساهمة هذه المناطق في توزيع شدة او سعة الضوء في نقطة الملاحظة p ، كما بينا تأثير عدد هذه المناطق سواء العدد الزوجي او الفردي .

وهنا نود ان نستعمل هذه الحقيقة لامور عملية . ونقصد بذلك عندما نعمل فتحة حيود بالشكل او الترتيب الذي يسمح بامرار مناطق متناوبة في المرتبة من مناطق فرنيل (وهذا ممكن) مثل امرار المناطق ذات الرتب الفردية وحجب المناطق ذات الرتب الزوجية (ونقصد هنا بالرتبة هو العدد n .

واذا ما تحقق ذلك فيكون مجموع المساهمات من المناطق ذات الرتب الفردية هي :

$$|U_p| = |U_1| + |U_3| + |U_5| \qquad (29\text{-}1)$$

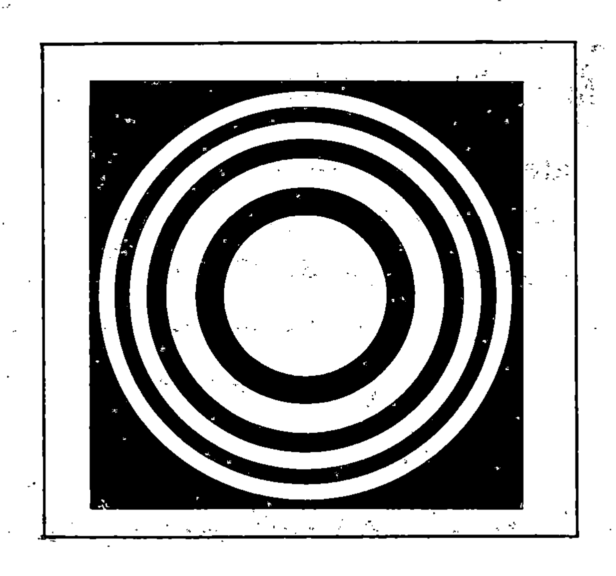
فالصفيحة التي تحقق هذه الشروط تدعى بصفيحة (Zone Plate) ان هذه الصفيحة تسلك سلوك العدسة تقريبا ، حيث سعة موجة الضوء في نقطة الملاحظة $|U_p|$ او شدة الضوء في النقطة نفسها اكبر بكثير من حالة عدم وجود الصفيحة المشار اليها ، حيث قلنا ان هذه الصفيحة تسلك مسلك العدسة ، وهذا صحيح ، واضافة على ذلك فأن البعد البؤري المكافيء لهذه الصفيحة هو :

$$L = \frac{R_1^2}{\lambda} \qquad (30\text{-}1)$$

حيث R_1 هو نصف قطر منطقة فرنيل الاولى و λ هي الطول الموجي و L معرفة في المعادلة (30-1)

ويمكن عمل صفيحة المنطقة بعدة طرق . ومنها الطريقة الفوتوغرافية حيث ترسم

اولا ومن ثم تصور فوتوغرافيا وبعد عمليات الاظهار والتثبيت نحصل على اللوحة كما في الشكل (23-1) وهذه اللوحة تكون عادة شفافة للضوء ، حيث يركز الضوء وتتكون الصورة لجسم على أي بعد ، ولابد ان نذكر ان هذا اللوح حساس جدا للتغيرات في طول الموجة حيث يظهر من المعادلة (30-1) من انها تتناسب عكسيا مع طول الموجة . وهناك عدة تطبيقات بسيطة اخرى لحيود فرنيل مثل حالة الفتحة المستطيلة (Rectangular aparture) ، وكذلك حالة الشق (slit) والحافة المستقيمة ، ولقد تم شرح هذه الحالات بشيء من التفصيل من قبل G . R . Fowles .



شكل 23-1

1- 12 التصوير بثلاثة ابعاد Holography

يتألف المصطلح الهولوغرافي من كلمتين أغريقيتين ، (holos) وتعني (whole) و (graphein) وتعني (to write) وتركيب الكلمتين يعني (Complete writing) أي الكتابة التامة

وقد جاء بفكرة الهولغرافي (وهي اعـادة تركيـب جبهـــة الموجـــة . wave reconstruction العالم الفيرياوي الشهير كابور Denis Gabor في عام ١٩٤٨ ، ولم تتبلور هذه الفكرة ولم توضع موضع التطبيق الا في منتصف الستينات وبعد اكتشاف اشعة الليزر احادية الموجة او اللون Monochromatic ومنذ ذلك اليوم والهولغرافي يتقدم في كل يوم حتى اصبح من ابرز المكتشفات التكنولوجية التي وجدت تطبيقات شتى ، ومفهومه الحقيقي هو تسجيل الصورة بثلاثة ابعاد بدلا من بعدين كما في حالة التصوير الاعتيادي .

ولنرى الآن ما هي فكرة اعادة تركيب جبهة الموجة .

1-12-1 اعادة تركيب جبهة الموجة بواسطة :

Reconstrtion of the wave front by diffraction holography

تستعمل شاشة حيود خاصة في هذه الطريقة ، وتدعى بالهولوكرام (Hologram) لاعادة تركيب تفاصيل مجال الموجات المنبعثة من الجسم المضاء بالليزر ، اي من مصدر احادي الموجة ، ولعمل الهولوكرام تقسم حزمة الليزر (Laser) من المصدر الى قسمين (حزمتين) تسقط احدى الحزمتين على الجسم الذي يراد تصويره ومنه الى لوح فوتوغرافي حساس جدا ، واما الحزمة الثانية فتسقط بواسطة مرآة او اكثر على اللوح الفوتوغرافي مباشرة وتدعى هذه الحزمة بحزمة المرجع (Reference beam) وبذلك يتعرض اللوح الفوتوغرافي للاضاءة من الحزمة المنعكسة من الجسم والاخرى من المصدر مباشرة في آن واحد ويمكن تمثيل التجربة في الشكل (1-24) . ومحصلة تسجيل نمط التداخل (interference Pattern) تحوي على تفاصيل غاية في الدقة عن الجسم مسجلة على اللوح الفوتوغرافي الذي يكون الهولوكرام ، ،وبعد اظهار هذا الهولوكرام (Developed) بالطرائق الفوتوغرافية يضاء بحزمة منفردة من مصدر الليزر كما في الشكل (b24) حيث تتكون الصورة بثلاثة ابعاد نتيجة لحيود جزء من المجال الضوئي (الليزر) فعندما ينظر الشخص يرى الجسم كاملا وبثلاثة ابعاد ، واذا غيرنا زوايا النظر فأننا سنرى تفاصيل اخرى وبوضوح مفرط .

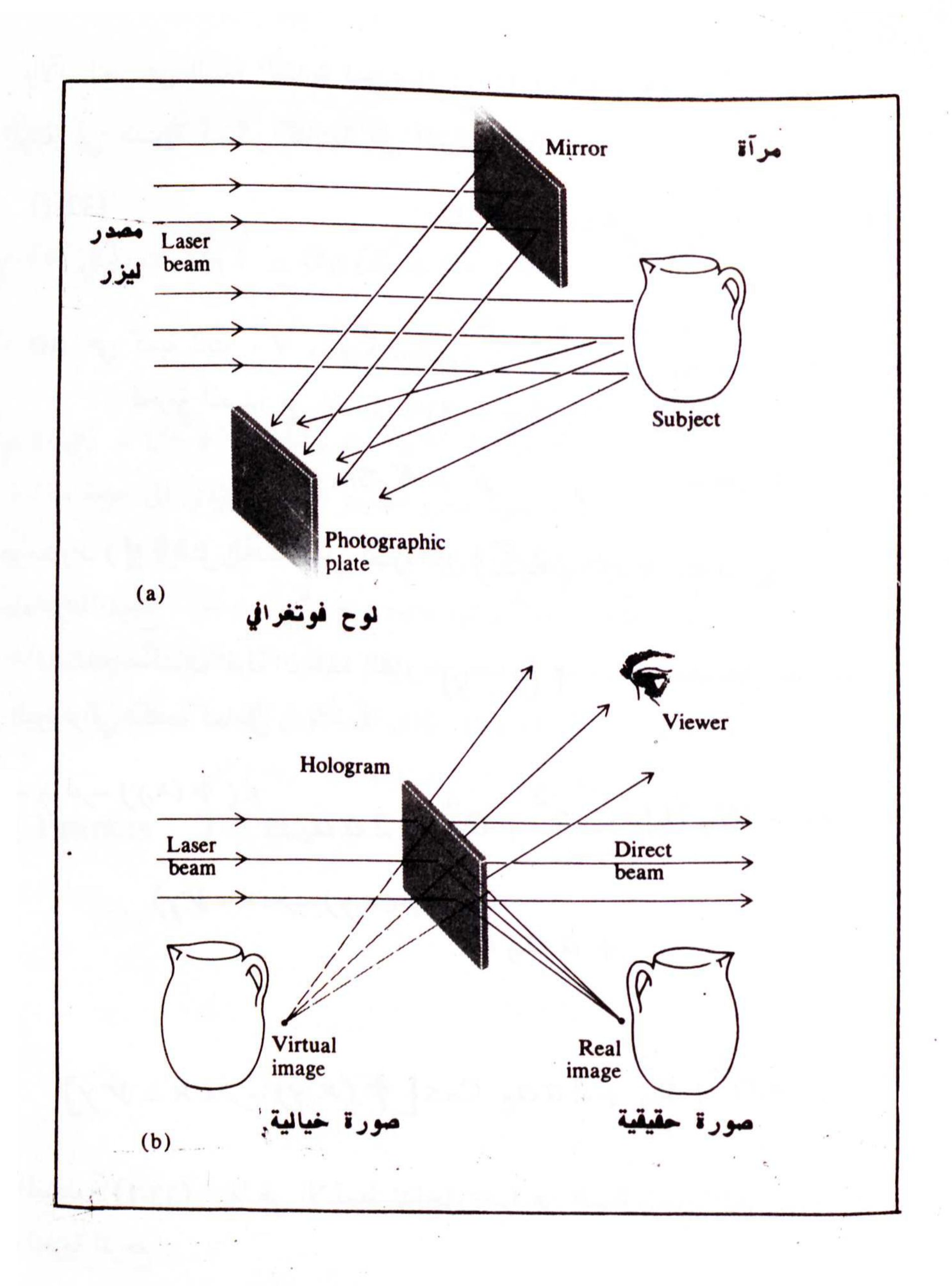
ولنتأتِ الآن لمناقشة نظرية الهولوكرافي واعادة تركيب جبهة الموجة بشكل مبسط ، ولاجل ذلك نعتبر حزمة المرجع موجة مستوية ولنفرض ان x و y هما احداثيان في مستوى اللوح الفوتوغرافي ولتكن U (x و y) دالة مركبة لسعة جبهة موجة الليزر المنعكسة في المستوي xy.

وبما ان الدالة U (x و y) عقدية ، فيمكن كتابتها بالشكل التالي :

$$U(x,y) = a(x,y)\, e^{i\phi(x,y)} \qquad (31\text{-}1)$$

حيث

a (x , y) هي دالة حقيقية



Mirror
مرآة
مصدر
ليزر
Laser beam
Subject
Photographic plate
(a)
لوح فوتغرافي
Viewer
Hologram
Laser beam
Direct beam
Virtual image
Real image
صورة خيالية
صورة حقيقية
(b)

شكل 24-1

والآن لنعبر عن السعة العقدية لحزمة المرجع بالدالة $U_o(x, y)$ ، وبما ان هذه الموجة هي مستوية فيمكن كتابتها على الشكل التالي .

$$U_0(x,y) = a_0\, e^{i(\mu x - \nu y)} \qquad (32\text{-}1)$$

حيث a_o هي كمية ثابتة ، ν و μ هما الترددات المكانية (spatial frequencies) لحزمة المصدر في المستوى xy . حيث ان :

$$\mu = K \sin\alpha \quad , \quad \nu = K \sin\beta$$

وكما هو معروف (k) يمثل العدد الموجي لضوء الليزر $\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)$ والزوايا α و β يحددان اتجاه حزمة المرجع .

مما تقدم يمكننا ان نقول ان شدة الليزر $I(x\ y)$ التي ستسجل على اللوح اللوح الفوتوغرافي تكتب كما يلي :

$$I(x,y) = |U + U_0| = a^2 + a_0^2 + 2aa_0 e^{i(\phi(x,y) - \mu x - \nu y)}$$
$$+ aa_0 e^{-i(\phi(x,y) - \mu x - \nu y)}$$

$$I(x,y) = a^2 + a_0^2 + 2aa_0 \cos[\phi(x,y) - \mu x - \nu y] \qquad (33\text{-}1)$$

المعادلة (33-1) ما هي الا نمط تداخل معبرا عن السعة وتحوير الطور للترددات المكانية لحزمة المرجع .

عندما يضاء الهولوكرام (اللوح الفوتوغرافي) بحزمة منفردة U_o مشابهة لحزمة المرجع ينتج عن ذلك حزمة نافذة U_T وهذه تتناسب مع حزمة المصدر اي ان :

$$U_T \propto U_o$$

و U_T تتناسب مع نفوذية الهولوكرام التي بدورها تتناسب مع الشدة اي ان (باهمـال الثابت) نحصل على :

$$U_T(x,y) = U_0 I = a_0(a^2 + a_0^2)\, e^{i(\mu x + \nu y)} + a_0^2\, a\, e^{i\phi} + a_0^2\, a\, e^{-i(\phi - 2\mu x - 2\nu y)}$$

$$U_T(x,y) = (a^2 + a_0^2)U_0 + a_0^2 U + a_0^2 U^{-1} U_0^{-2} a^2 \qquad (34\text{-}1)$$

في الحقيقة يسلك الهولوكرام سلوك محزز الحيود ، حيث يؤدي الى حزمة مباشرة (غير محادة) وحزمتين على جانبي الحزمة المباشرة كما في الشكل (24 b) ، حيث يمثل الحد $Uo\,(a^2 + a_0^2)$ الحزمة المباشرة والحد $a_0^2\,u$ يمثل احدى الحزمتين المحادتين حول الحزمة المباشرة وهذا الحد هو الذي يؤدي الى تكوين الصورة الخيالية للجسم ، والحد الأخير في المعادلة (34-1) يؤدي الى تكوين الصورة الحقيقية للجسم ،

وللتعمق في دراسةلهولوكرافي وتطبيقاته نظريا وعمليا يجب الرجوع الى

(Francis T.S.yu)

الاسئلة :

س١ :- مصدر نقطي ضوئي (Point source) يمكن استعماله في تجارب الحيود ، يبعد عن فتحة الحيود 5 أمتار ، فاذا كانت الفتحة ذات قطر 1 ملم ، بين فيما اذا كان نوع الحيود هو فرانهوفر أو فرنيل مع العلم المسافة بين نقطة الملاحظة (الشاشة) وفتحة الحيود هي :

آ- 10 سم

ب - 50 سم

جـ - 5 سم.

مع فرض ان طول الموجة للضوء هي $5000A^{\circ}$

$$(\lambda = 5000\,A^{\circ} = 500\,nm)$$

س٢ :- برهن على ان القيم العظمى الثانوية لنمط الحيود من شق منفرد لحالة حيود فرانهوفر تحدث لقيم

$$\beta = \tan \beta$$

وبين ان الجذور الثلاثة الاولى هي $\beta = 1.43\pi , 2.46\pi , 3.47\pi$

تقريبا ، وحقق ان للجذور قيما بصورة عامة $\pi(n+\frac{1}{2})$

عندما تكون n كبيرة جدا ، مع العلم ان n هو اي عدد كامل مثـــل

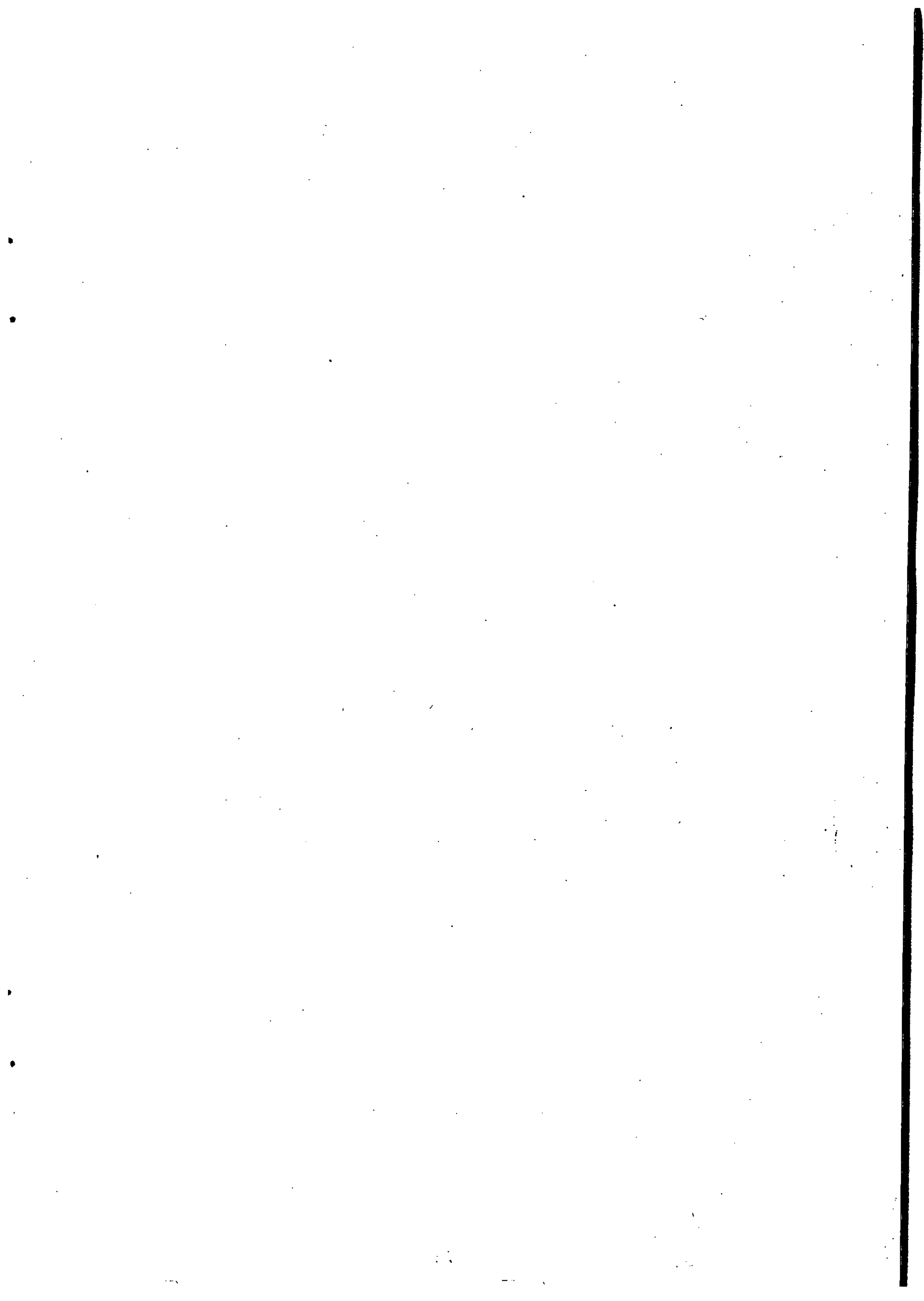
(1 , 2 , 3 , 4 , ...)

س٣ :- لقد وجد في تجربة حيود فرانهوفر من فتحة ذات الشقين (double slit) غياب القيمة العظمى الثانوية الرابعة ، فما هي نسبة عرض الشق (b) الى المسافة بين الشقين (h)

س٤ :- برهن على ان نمط حيود فرانهوفر من فتحة ذات شقين تختزل الى نمط حيود لشق منفرد ذات عرض (width) 2b ويكون العرض يساوي المسافة بين الشقين اي ان . b=h

س٥ :- محزز حيود بعرض 1000 خط / ملم ، فكم يجب ان يكون اتساع (width) المحزز لكي يحلل حزمة الليزر (Laser) ذات طول موجة 6328A°

(632 8nm) ، الفرق بين تردد طول خطوط حزمة الليزر هو 450 MH (450 مليون دورة في الثانية) .



الفصل الثانى

2.1 خواص الاشعة السينية Properties of the x-ray

اكتشف الاشعة السينية العالم الالماني Rontgen والذي حصل على جائزة نوبل سنة 1913 نتيجة لاكتشافه هذا ، وبالمناسبة ان هذا العالم يعتبر اول فيزياوي يحصل على هذه الجائزة وتسمى الاشعة السينية في كثير من امهات الكتب باسم مكتشفها .

الحقيقة ان تاريخ اكتشاف هذه الاشعة حافل بالعبر العلمية وكيفية تطوير التجارب والاستنتاجات حيث انه تاريخ طويل يبدأ من سنة 1814 ومن يرغب في الاطلاع على المادة التأريخية بالتفصيل فعليه الرجوع الى Lipson

من الخواص الاولى التي تتبادر الى الذهن ، هي تأثر الاشعة السينية عند مرورها بالمواد المختلفة (قابلية المواد لامتصاص هذه الاشعة) . فقدثبت عمليا ان المواد تختلف في قابلية امتصاصها للاشعة السينية ، فيعتمد ذلك على الوزن الذري للذرات المكونة لتلك المادة ، فالبلوتينيوم (pt) والرصاص (pb) يمتصان الاشعة السينية اكثر من الفضة والنحاس ولا يمكن اعتبار الالمنيوم مادة تمتص الاشعة السينية . ومن الممكن ان تكون اهمية موضوع امتصاص الاشعة السينية اكثر وضوحا واهمية عندما نقارنه مع الضوء الاعتيادي : فمثلا يمتص الضوء بشكل كلي بواسطة صفيحة رقيقة قد تكون مكونة من ذرات خفيفة ، من الليثيوم او البرليوم على سبيل المثال ، بينما مادة الزجاج التي قد تكون حاوية على ذرات ثقيلة مثل الرصاص تكون شفافة للضوء ، وهذا طبعا يحتاج الى تفسيرات فيزياوية ولكن الذي نريد ان نقوله هو ان الاشعة السينية تتأثر بعوامل مرتبطة بأساسيات الذرات اكثر من الضوء . كما ان من خواص الاشعة السينية انها تؤثر في اللوح الفوتوغرافي ، كبقية الاشعاعات ولهذا يمكن التصوير بالاشعة السينية . ولهذه الخاصية الاخيرة تطبيقات تكنولوجية عظيمة مثل الفحوصات اللاتدميرية للمواد ، والخاصية الاخرى للاشعة السينية انها تأين الوسط الذي تمر فيه . فمثلا عند مرور هذه الاشعة بانبوب يحوي على غاز يمكننا الكشف حينئذ عن تأين الغاز بسهولة .

وفي الحقيقة ان تحذير الاطباء للانسان بعدم التعرض للاشعة السينية الا عند الحاجة القصوى لها مايبررها حيث ان تأتي ذرات الانسجة الحية نتيجة مرور

الاشعة ، يؤدي الى تغيرات تركيبية وفيزيولوجية خطيرة .

والخاصية المهمة الاخرى : هي ان الاشعة السينية تستطير (Scattering) بواسطة المواد (material) ، فاذا ما وضعنا قطعة من مادة في مسار الاشعة ، نجد ظهور اشعة سينية مخترقة جديدة منبعثة في اتجاهات عديدة خارجة من المادة (النموذج) . تماماً مثل الضوء ، فاذا نظرنا الى جو مغبر (dusty air) لرأينا بأعيننا نمط استطارة الضوء وهذه الاستطارة هي التي تجعلنا قادرين على رؤية وتمييز الاجسام المضاءة اذ اننا نرى الاجسام نتيجة لخاصية الاستطارة هذه (تنطبق هذه الحقيقة على الاضاءة بحزمة الكترونية او اشعة سينية او نيوترونات او أي مصدر آخر) .

قبل الغور في خواص الاشعة وكيفية تفاعلها مع المادة واشتقاق المعادلات الرياضية ، لابد من فهم مصدر هذه الاشعة (Orgin of X - ray) :

يعلم الكل ان الاشعة السينية هي عبارة عن اشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجي قابل للقياس بتجربة بسيطة ، قد تكون هذه المعلومات كافية للذي يريد ان يستخدم هذه الاشعة كوسيلة للقياس ، ولكن من الضروري ان نعرف كيفية توليد هذه الاشعة ومصدرها ، حيث يساعد ذلك الباحث او الطالب في تطوير او تصميم تجارب جديدة او تفسير النتائج التي يحصل عليها .

ولنبدأ في كيفية توليد هذه الاشعة : تتولد الاشعة السينية عند تباطىء الالكترونات السريعة . ولو فرضنا ان الكترونا سريعا (ذو طاقة معينة) تحولت طاقته الحركية الى فوتون (quantum) بطاقة قدرها $h\nu$ حيث تمثل ν التردد و h ثابت بلانك (Planck Constant) وبما ان التردد يساوي ν ، اذا طول الموجة المصاحبة يساوي ما يلي :-

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

حيث تمثل c سرعة الضوء (من الطبيعي ان الاشعة السينية تسير بسرعة الضوء) عند تعجيل الكترون ذو شحنة e باستخدام فرق جهد قدره V ، فأن الطاقة الحركية لهذا الالكترون تساوي eV ، وبذلك تكون طول موجته تساوي ما يلي :

$$\lambda = \frac{hc}{eV} \qquad (1-2)$$

بصورة عامة ان الالكترون هذا لا يفقد طاقته عند اول صدمة مع ذرات مادة الهدف وانما يعمل عدة تصادمات قبل ان يفقد طاقته بصورة كاملة ، لذلك فأن طول الموجة المعبر عنها في المعادلة (2-1) تمثل اقصر موجة طولاً يمكن الحصول عليها ، حيث هناك اطوال موجات مختلفة في عملية انبعاث الاشعة السينية ، تكوّن بمجموعها طيفاً احصائياً (Spectrum) ، كما يوضحه الشكل (2-1) ويتكون الطيف من قسمين ، جزء مستمر (Continuous) وتبرز عليه قمم حادة (Peaks) والذي يدعى بالاشعة البيضاء وتتكون من خليط من اطوال الموجات والقمم الحادة تكون احادية الموجة تقريبا تدعي بالطيف المميز (Characteristic Spectrum) وتعتمد على طبيعة ذرات المعدن ، بحيث ان لنوع من الذرات انبعاثاً اشعاعياً يختلف عن الذرة الاخرى بالطاقة (طول الموجة) والشدة ، وبسبب هذه الخاصية يمكن استعمال الاشعة السينية ككاشف عن نوع الذرات او العنصر .

يتولد الطيف المميز هذا بالشكل التالي : عند اصطدام الالكترونات السريعة بالكترونات المدارات الداخلية للذرة (Inner shell electron) فمن المحتمل ان تكتسب هذه الالكترونات الاخيرة طاقة اكثر من الطاقة التي تشدها الى ذراتها وبذلك تترك الذرة ، عملية تأيين (Ionization) يبقى مكانها خاليا او بالاحرى مدارها ناقصا لذا قد يسقط الكترون من المدارات الخارجية (outer shell) ، الاكثر بعدا عن النواة اليها ان فرق الطاقة لهذا الالكترون المنتقل من المدار الخارجي الى مدار داخلي تنبعث الى خارج الذرة على هيئة اشعة سينية .

ولنفترض أن E تمثل الفرق في الطاقة بين المدارين ، عند ذلك يكون طول موجة الانبعاث تساوي ما يلي :

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

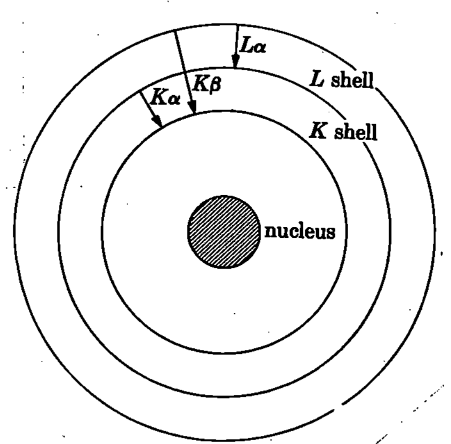
وكما ذكرنا سابقا ان E تختلف باختلاف الذرات او العناصر ، لذلك تكون طول موجة الانبعاث معتمداً على ذرات العنصر.

تتخذ E قيما مختلفة لذرة معينه ، تعتمد على المدارات التي تنتقل بينها الكترونات الذرات وبذلك تكون طيفا خاصا ولكنه اضيق من الطيف الابيض بكثير .

ان الشكل (2-2) يوضح فكرة تولد الأشعة نتيجة انتقال الالكترونات من مدار الى آخر .

Kα
60
50
40
30
20
10
0
INTENSITY (relative units)
< 0.001A
Kβ
0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

شكل (2 -1)



شكل (2 -2)

فعندما يترك الكترون المدار K من الذرة ويحتل محله الكترون المدار L فأن الاشعة السينية المنبعثة تدعى K_{α} وعندما يحتل محل الالكترون K الكترون آخر من المدار M ، في هذه الحالة تدعى الاشعة السينية K_{β} (وهذا الاحتمال الاخير بعيد الحدوث) .

ما تم تفصيله اعلاه يمثل الاجزاء الرئيسة من طيف الاشعة السينية والتي تستخدم في تجارب الحيود .

2 -2 امتصاص الاشعة السينية : Absorption

عند مرور الاشعة السينية خلال اي سمك معين من مادة ما ، فأن جزءا منها يمتص من قبل تلك المادة ، نتيجة لتفاعل هذه الاشعة مع الذرات المكونة للمادة او الافضل مع الالكترونات المشدودة الى الذرات لتلك المادة . وتوضح التجارب ان النقصان (Fraction decreases) في شدة الاشعة المارة خلال المادة المتجانسة تتناسب مع المسافة المقطوعة خلال المادة (x) او مع السمك في بعض الاحيان وكما توضح ذلك المعادلة التالية :

$$-\frac{I}{dx} = \mu x \quad \text{-------------} \quad (2\text{-}2)$$

حيث تمثل "I" شدة الاشعة السينية ، بينما تمثل μ ثابت التناسب .

يعتمد ثابت التناسب (μ) هذا على كثافة المادة وكذلك على طول الاشعة المسلطة على النموذج .

باجراء التكامل على طرفي المعادلة (2-2) اعلاه نحصل على ما يلي :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث تمثل كل من I_0 و I_x الشدة الاصلية والمتبقية بعد ان قطعت مسافة قدرها (X) داخل المادة على النحو التالي :

يتناسب معامل الامتصاص الخطي μ مع كثافة مادة الهدف (Density)

وهذا يعني ان μ/ρ (تمثل ρ كثافة مادة الهدف) كمية ثابتة وخاصية من خواص مادة الهدف هذه وعدم اعتمادها على الحالة الفيزياوية للمادة (سواء كانت صلبة ، غازية او سائلة) .

وتدعى الكمية μ/ρ بمعامل الامتصاص الكتلي (mass obsoption coefficient) ويمكن ايجاد قيمة هذه الكمية في جداول خاصة ، والسبب كما ذكرنا انها تمثل خاصية من خواص المادة ومن خلالها يمكن تمييز تلك المادة .

لذلك يمكن كتابة المعادلة (2-2) بشكل عملي ومفيد كما يلي :

$$I_x = I_0 e^{-(\frac{\mu}{\rho})\rho x} \qquad ------ \qquad (3\ -2)$$

في بعض الاحيان يكون من الضروري جدا معرفة قيمة معامل الامتصاص الكتلي لمادة تحتوي على اكثر من عنصر واحد (ذرات مختلفة) بغض النظر عن حالة المادة الفيزياوية فأن قيمة معامل الامتصاص الكتلي يساوي معدل معامل الامتصاص الكتلي للذرات المكونة لتلك المادة .

فاذا افترضنا ان W_1 و W_2 و W_3 ...... تمثل النسب الوزنية للعناصر المكونة للمادة في هذه الحالة تصبح قيمة معامل الامتصاص الكتلي للمادة مساويا لما يلي :

$$\mu/\rho = W_1(\mu/\rho)_1 + W_2(\mu/\rho)_2 + W_3(\mu/\rho)_3 + - \qquad (4\ -2)$$

اما الكيفية التي بها يتغير معامل الامتصاص الكتلي للمادة مع طول موجة الاشعة السينية المسلطة على المادة تعطي مفتاح فهم لعملية تفاعل هذه الاشعة مع المادة ، في الحقيقة يمكن التعبير عن معامل الامتصاص الكتلي وتغيره مع طول الموجة وبشكل تقريبي وفق المعادلة التالية :

$$\mu/e = K\lambda^3 Z^3 \qquad ----- \qquad (5\text{-}\ 2)$$

حيث تمثل K ثابتا ويختلف قيمته بتغير موقعها من الدالة ، اما(Z) فهي العدد الذري للمادة الماصة للاشعة السينية .

بنظرة بسيطة الى المعادلة اعلاه نستطيع استنتاج ، ان الاشعة السينية ذات الطول الموجي القصير تكون اكثر اختراقا للمادة وتدعى بالصعبة (Hard) بينما الاشعة السينية ذات الطول الموجي الكبير تمتص بسهولة مفرطة وتدعى بالبسيطة .(Soft)

كما نرى اننا اعطينا μ/ρ اهتماما كبيرا والسبب هو اهميتها في تجارب الحيود وفهم تفاعل الاشعة السينية مع المادة .

ان المادة (الهدف والنموذج تحت الاختبار) تمتص الاشعة السينية بطريقتين متميزتين هما :

١ – طريقة الاستطارة . (**Scattering**)

٢ – طريقة الامتصاص الحقيقية ، التي تكلمنا عنها .

ويمثل ذلك العامل μ/ρ مجموع الامتصاص .

المقصود من تصنيف الاستطارة **بانها** نوع من الامتصاص هو ما يلي :

ان استطارة الاشعة السينية من قبل المادة مشابه لحالة استطارة الاشعة الضوئية الاعتيادية من قبل الهواء المعبّأ بالغبار (**dusty air**) حيث تكون الاستطارة في جميع الاتجاهات .

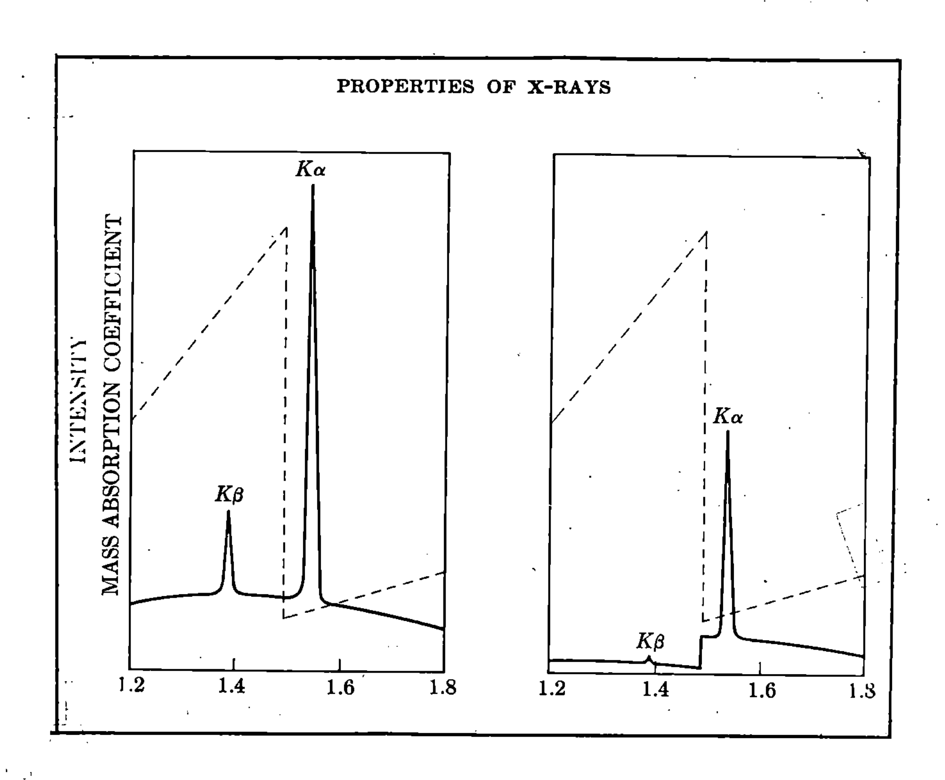
تعني الاستطارة بالنسبة الى الاشعة السينية نقصانا في قيمة الشدة **بالاتجاه الاصلي** .

من الناحية العملية ، نحن لسنا بحاجة الى طيف الاشعة السينية المتولدة باكملها ، كما في الشكل رقم (1-2) انما نحتاج الى جزء من هذا الطيف وهو الجزء الذي يكون اكثر شدة واقرب ما يكون الى احادي اللون او ذي طول موجي واحد وهذا يعني انهلابد من استعمال مصفاة ذات مرشح (**filter**) للحصول عمليا على الجزء المطلوب .

ويحتاج استخدام المصفاة الى فهم جيد لطبيعة الطيف وطبيعة مادة المصفاة نفسها . يمكن توضيح ذلك بال شكل (3-2) حيث يوضح الشكل المقارنة بين طيف الاشعة السينية عن هدف هو النحاس .

أ – الطيف قبل المرور بالمصفاة

ب – الطيف بعد المرور بمصفاة من مادة النيكل


PROPERTIES OF X-RAYS
INTENSITY
MASS ABSORPTION COEFFICIENT
Kα
Kβ
1.2
1.4
1.6
1.8
Kα
Kβ
1.2
1.4
1.6
1.8

(a) (b)

شكل (3-2)

وتمثل المنحنيات ذات الخطوط المنفصلة (غير المستمرة) دالة معامل الامتصاص الكتلي .

في الحقيقة ان خاصية مادة المصفاة يجب ان تكون ذات علاقة بخاصية مادة الهدف (سوف نشرحها فيما بعد) . بصورة عامة ، فان قمم امتصاص "K" في طيف الاشعة السينية للمصفاة يجب ان تقع بين K_β و K_α لمعدن الهدف .

نعود مرة ثانية فنقول ان العدد الذري لمادة المصفاة يجب ان يكون اقل من العدد الذري لمعدن الهدف بواحد او اثنين .

في الشكل (2-3) كان الهدف هو معدن النحاس ($z = 29$) ، اما معدن المصفاة فكان من النيكل ($z = 28$) كما يلاحظ القارىء ان شدة الخط قد نقص في الشكل (2-3) بعد مروره طبعا خلال المصفاة .

وهذا متوقع والسبب نفاد الشدة نتيجة للامتصـــاص ، وكلما كانت مادة المصفاة اكثر سمكاً فقدنا كمية اكبر من الشدة ، اي تقل نسبة شدة الاشعة الداخلة الى المصفاة عن تلك الخارجة منه .

وندرج للاغراض العملية ادناه جدولا يبين مواد الهدف المستعملة والمصافي المقابلة وسمك المصافي التي يجب ان تستعمل وغير ذلك .

المصفاة عبارة عن صفيحة رقيقة من المعدن المطلوب ، عمليا لا يمكن الحصول على صفيحة ثابتة من كافة المعادن ، عند ذلك يمكن استعمال اكاسيد تلك المعـادن حيث لها نفس الخواص بالنسبة لامتصاص الاشعة السينية .

(1-2) جدول رقم

الهدف Target	المصفاة filter	سمك المصفاة $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)} = \frac{500}{1}$ للحزمة المخترقة		الحزمة الساقطة $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)}$	مخترقة $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)}$ ساقطة
		ملغم/سم٢	1 m		
Mo	zr	20	o,oo43	5.4	0.3
Cu	Ni	18	0.0008	7.5	0.42
Co	Fe	13	0.0006	9.4	0.47
Fe	Mn	12	0.0006	9.0	0.47
Cr	V	9	0.0006	8.5	0.48

3-2 توليد الاشعة السينية : Producation of X -ray

كما ذكرنا سابقا ، أن الاشعة السينية تتولد عندما تتباطأ الالكترونات السريعة ، او عندما تصطدم هذه الالكترونات بهدف معدني . في الحقيقة ان الحالتين تمثلان وجهين لعملة واحدة ، لان اصطدام الالكترون بالهدف يعني فيزياوياً التباطؤ نتيجة لفقدان الطاقة وكذلك نتيجة للتفاعل مع الجهد الكولومبي (Coulombic) لالكترونات الذرات المكونة للهدف (المتكونة اعتياديا من المعدن) . الجهاز الذي يولد الاشعة السينية بكامله يدعى بانبوبة الاشعة السينية (X — ray tube) . وبعد معرفتنا طريقة توليد الاشعة السينية ، يمكننا ان نقسم الانبوبة الى الاجزاء الرئيسة التالية :

أ – مصدر الالكترونات Electron Source

ب - مصدر لتوليد الجهد العالي المعجل للالكترونات Electron accelator high-voltage source

ج – هدف معدني Metal target

وبما ان جزءاً كبيراً من طاقة الالكترونات المصطدمة بالهدف تتحول الى حرارة ، لذلك يجب تبريد الهدف اثناء توليد الاشعة السينية وذلك بطريقة تدوير الماء، لتحاشي (انصهار الهدف) .

وكما هو الحال في مصادر توليد الالكترونات السريعة لغرض تجارب حيود الالكترونات كذلك يشمل مصدر الالكترونات المستخدم لتوليد الاسعة السينية على المصعد والمهبط ، حيث يكون فرق الجهد بينهما في الحالات الاعتيادية **بين(50kv - 30kv)** ويمكن تقسيم انابيب توليد الاشعة السينية الى نوعين :

أ – ذات الفتيلة : هذا النوع من المصادر يشتمل على فتيلة تسخن بتيار كهربائي خارجي .

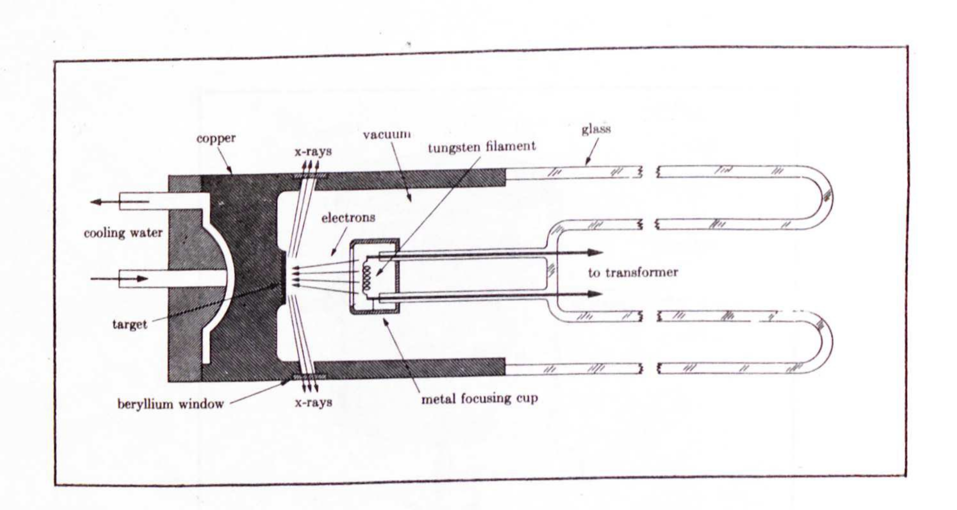
ب – انبوبة التأين : في هذا النوع من المصادر تتولد الالكترونات بواسطة تأين (Ionization) كمية قليلة من الغاز في الانبوبة .

سنحاول شرح جهاز او انبوبة النوع الاول ، لانها اكثر استعمالا .

1-3-2 الأنبوبة ذات الفتيلة : Filaments tubes

يتكون هذا الجهاز بصورة رئيسة من انبوب زجاجي كبير نسبيا ومفرغا من الهـواء (evacuated tube or glass envelope) ليعزل الغلاف الزجاجي المهبط الذي هو في نهاية الانبوب عن المصعد الذي هو في النهاية الاخـرى ويتكون المهبط (Cathod) من فتيلة التنكستون ، المصعد (الآنود Anode) من جسم معدني مثل النحاس والذي يكون الهدف المطلوب ويبرد كما ذكرنا آنفا .

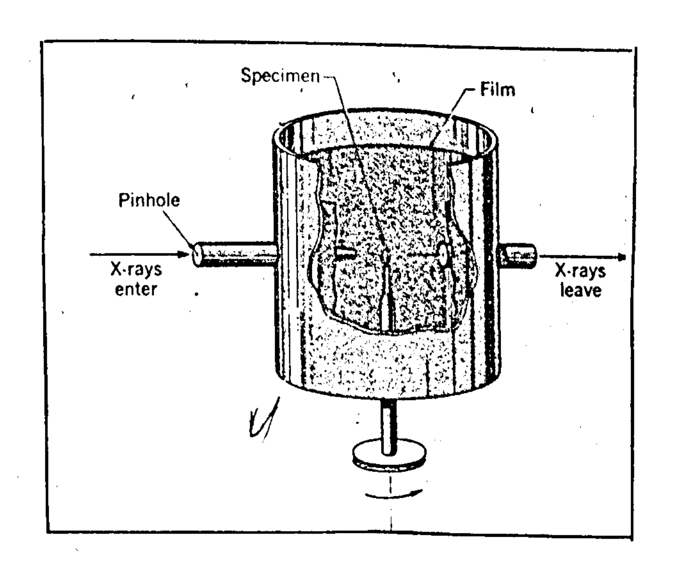
الشكل (4-2) يبين تخطيطا جهاز توليد الاشعة السينية ، من الواضح ان احدى نهايتي محولة الجهد العالي مربوطة بالفتيلة والنهاية الاخرى بالارض (earth) لشحن الفتيلة بتيار مقداره حوالي 3mA، تنبعث الالكترونات التي تعجل (تسحب) بشدة نحو الهدف بتأثير فرق الجهد العالي بين نهايتي الانبوبة .



شكل (4-2)

هناك شبه عدسة مغناطيسية تدام بنفس فرق جهد الفتيلة وظيفتها تركيز الحزمة الالكترونية على منطقة صغيرة من الهدف (focusing of the beam) عند اصطدام الالكترونات بالهدف تتولد الاشعة السينية وتنبعث في كل الاتجاهات ويكون هنالك منفذ في الانبوبة (لا يسمح بدخول الهواء الى الانبوبة الذي يكون شفافا للاشعة السينية)، فمن خلال هذا المنفذ تخرج الاشعة السينية حيث يتم السيطرة عليها ، بعد تصفيتها تستخدم عندئذ لاغراض الحيود .

جدير بنا ان نذكر ان المنفذ في جسم الانبوبة كالبرليوم ، الالمنيوم والمايكا وقد تستعمل مواد اخرى ايضا .



شكل (5-2)

لتوضيح عملية توليد الاشعة السينية بشكل مبسط جدا انظر الشكل (2 - 5)
من المفيد ان نبين الربط الكهربائي بصورة عامة لاي انبوبة لتوليد الاشعة السينية ، نموذج من ذلك موضح في الشكل (2-6) .

تنتج الشركات نوعين من انابيب توليد الاشعة السينية هما :

أ - انابيب تفرغ من الهواء في المصنع وتلحم هناك .

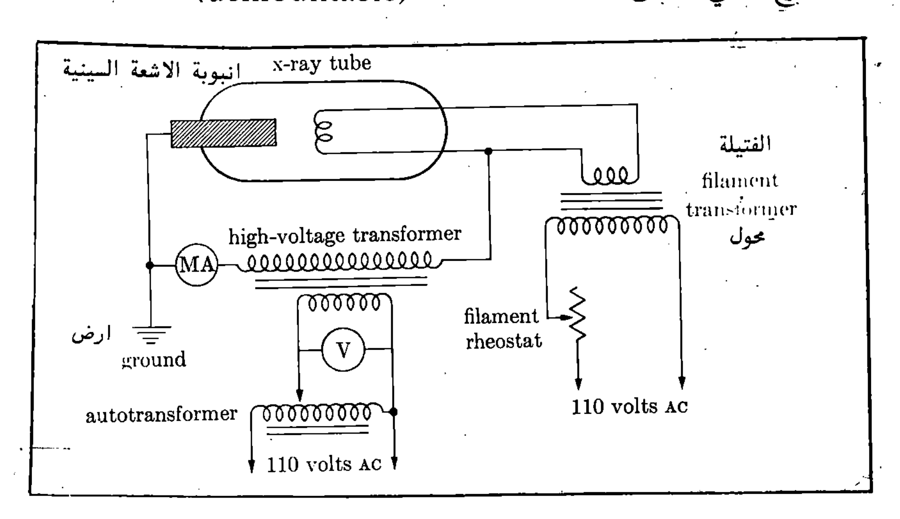
ب - انابيب يمكن فتحها وتفريغها ، والسبب انها مزودة باجهزة تفريغ وتكون اكبر حجما نسبيا .

النوع الاول يكلف كثيرا من الناحية المادية ، حيث يجب ان تتوفر عدة انابيب كل انبوبة تحتوي على هدف من معدن معين . يعتمد نوع الهدف المستخدم على نوع التجربة او البحث ويكون عمر الانبوبة مرتبطاً بعمر فتيلة التنكستن الذي يعد بساعات العمل .

بينما النوع الثاني والذي هو الاكثر ملائمة لمختبرات البحث ، يتمكن الباحث ان يبدل الفتيلة بسهولة فائقة وكذلك ابدال الهدف بآخر ملائم .

النوع الاول يدعى بـ (Sealed-off tube)

اما النوع الثاني فيدعى بـ (demountable)



شكل (6-2)

4-2 الكشف اوتسجيل الاشعة السينية : Detection of X - rays

ان الطريقة الرئيسة المستخدمة للكشف عن الاشعة السينية هي وضع شاشة فلورنسية (fluorescent Screen) في مسلك الاشعة فتتوهج هذه الشاشة ويظهر عليها تفاصيل النموذج سواء كان نمط حيود او صورة .

من الطرق الشائعة الاستعمال هي التصوير باستخدام اللوح الفوتوغرافي الذي تختلف مادة طلائه عن تلك التي تستخدم للتصوير الضوئي او الالكتروني .

ويكون الاختلاف بين اللوحين الفوتوغرافيين في ان الجسيمات التي تكون طلاء اللوح الفوتوغرافي للأشعة السينية كبيرة نسبيا عن تلك التي تستخدم لاغراض اخرى ، وغالبا ما يستخدم اللوح الفوتوغرافي لتسجيل انماط حيود النماذج المختلفة .

بما ان جسيمات الطلاء كبيرة ، لذلك فأن هذا الطلاء غير قادر على استيعاب التفاصيل الدقيقة جدا . هذه المشكلة تظهر في النواحي العملية عندما يراد تكبير انماط الحيود او الصورالمأخوذة بالاشعة السينية . هناك طريقة مشهورة للكشف عن الاشعة السينية وهي طريقة التأين (Ionization device) حيث تستعمل مادة سلفايد الزنك (Zinc Sulfide) على الشاشة الفلورنسية بهيئة طبقة رقيقة تحوي على كمية قليلة من النيكل ، ولكن هذه الطريقة غير حساسة لاحزمة الحيود الضعيفة ولكنها تفيد كثيرا في تقويم الجهاز عند النظر للحزمة الرئيسة . هناك طريقة كشف حساسة جدا للاشعة السينية وهي طريقة العداد الوميضي (Scintalation Counter)

كما ان هناك حقيقة سبق وان اشرنا اليها وهي ان المواد المختلفة لها معامل امتصاص كتلي مختلف تعتمد على الكثافة والسمك وطول موجة الاشعة .

لذلك فأن الطلاء يجب ان يكون سميكا وغالبا ما يُطلى جانبا اللوح الفوتغرافي . درجة تأثر هذا الطلاء الفوتغرافي بالاشعة لتكوين الصور تعتمد على طول موجة الاشعة . من هذا نستنتج انه يجب الانتباه في الاغراض العملية الى ان هناك عدة انواع من الطلاء الفوتغرافي ذات تفاصيل وخصوصيات تعتمد على ظروف التجربة وخواص الاشعة السينية المستعملة . قد نعود مرة ثانية لشرح طريقة التسجيل الفوتغرافي بشيء من التفصيل .

(5-2) الوقاية من الاشعة السينية :

يتعرض مشغل اجهزة الاشعة السينية لمصدرين من المخاطر هما :

١ - تسلم جرعة كبيرة من الاشعة والتي تكون مؤذية للصحة بالطبع .

٢ - تعرضه للصدمات الكهربائية ، نتيجة اشتغال الجهاز بالجهد العالي ، لحسن الحظ يمكن تقليل تأثير هذين الخطرين وذلك بتصميم المعدات بشكل سليم ومتقدم تكنولوجيا ، كما يجب الا ننسى الحيطة والحذر من قبل المتعاملين مع هذه الاجهزة .

أما المخاطر المتأتية من الصدمات الكهربائية فهي معروفة في اصلها وسهلة التحاشي لها ، اما بالنسبة لمخاطر التعرض للاشعة ، فهذه كما ذكرنا سابقا تعتمد على حيطة المشغل بأستمرار ، وكما هو معروف أن الاشعة السينية هي من الاشعاعات المؤينة اي انها تقتل الخلايا الحية وهذه الخاصة الاخيرة تستخدم في علاج خلايا السرطان والاورام الاخرى بواسطة الاشعة السينية العميقة . في جميع المختبرات التي فيها اجهزه الاشعة السينية ، يُراقَب العاملون باستمرار وبشكل دوري بواسطة فحوصات الدم ، للكشف عن كريات الدم البيضاء حيث اذا ما تسلم جسم الانسان جرعة كبيرة تفوق المسموح بها ، فان هذه الكريات تقتل ولذلك يقل عددها في الدم .

ان الحيطة وفهم السلامة المهنية كفيلان بعدم حدوث أية اضرار في صحة العاملين .

اسئلة

س١ – ما هو التردد وما هي الطاقة للفوتون الواحد (Per quantum) بوحدات الايركات (ergs) للاشعة السينية ذات طول موجة 0.71A ((Mokα) / 1.54A° (Cukα) ؟

س٢ – احسب سرعة الالكترون وطاقة الحركية في انبوبة توليد الاشعة السينية عندما يكون معجلا بفرق جهد 50K V ما هو طول الموجة الادنى (Short wave limit) المنبعثة في المنطقة المستمرة من طيف الاشعة اوكما تسمى بالاشعاع الابيض وما هي اقصى طاقة للفوتون المنبعث؟

س٣ – تستعمل حواجز الوقاية المصنوعة من الرصاص في مختبرات تجارب الحيود بكثرة لوقاية العاملين وتكون عادة بسمك (١) ملم ، احسب عامل الاشعة المخترقة ($\frac{(I\ trans)}{(I_o\ incid}$) لهذه الحواجز للاشعاعات Mok$_\alpha$ وكذلك الحد الادنى لطول الموجة ، مع العلم ان الانبوبة تعمل بفرق جهد قدره 60 KV ؟

س٤ – صفيحة من الالمنيوم واحد ملم ، تقلل شدة الاشعة السينية المخترقة لها الى 23.9 بالمائة من قيمتها الاصلية . ما هو طول موجة الاشعة السينية هذه ؟

س٥ – لنفرض وجوب استعمال مصفاة من مادة النيكل ، حيث تؤدي الى الحصول على نسبة الشدة بين Cuk$_\alpha$ cu kβ ($\frac{1}{100}$) للاشعة المصفاة احسب سمك المصفاة (Thickness of the filter) وعامل الاشعة المخترقة ($\frac{I\ trans}{(I_o\ incid}$) للخط Cuk (μ/ρ) للنيكل للخط Cukβ يساوي gm / (286 cm^3 .

الفصل الثالث

1.3 البناء الهندسي للبلورة

كما هو واضح من عنوان هذا الكتاب ، انه يبحث في موضوع دراسة المـــواد (Materials) على مستوى دقيق لتعيين التراكيب الداخلية والخواص البنائية وذلك باستعمال تكنيك الحيود للجسيمات والاشعاعات ، المستعملة في الوقت الحاضر في مختبرات البحوث .

في الحقيقة تعين تراكيب كل المواد بهذه الطريقة سواء كانت بلورية او تراكيب عشوائية .

وبما ان التركيب البلوري للمواد هو الشائع ويشكل اكثر المواد المستعملة في الصناعات التكنولوجية لذا سوف نخصص فصلا كاملا لفهم طبيعة التركيب البلوري ، لتسهيل مهمة دراسة هذه التراكيب بأستعمال طريقة الحيود .

2.3 نبذة تأريخية

لقد عرفت المواد المتبلورة ، مثل المرمر والكوارتز منذ الاف السنين . وهناك لوحة لشكل بلوري في المتحف الصيني يعود تأريخها الى القرن الحادي عشر قبل الميلاد ، ناهيك عن تلك التحف البلورية واللوحات في المتحف الياباني حيث يرجع تأريخها الى القرن الثامن الميلادي على الاقل . في الحقيقة كانت كلمة بلورة مرادفة لأسم مادة الكوارتز حتى فترة متأخرة حيث اكتسبت الكلمة معنى اكثر شمولية . لقد كان يوحي الشكل المنتظم للبلورة ذات الترتيب الهندسي المعيني للفلاسفة والدارسين ، بأن البلورة مبنية من وحدة بناء اساسية ذات ترتيب هندسي يشبه البلورة الكبيرة نفسها ، وأن وحدة البناء هذه (Unit cell) قد كررت نفسها بعدد لا نهائي من المرات وبشكل مرتب وبالاتجاهات الثلاثة في الحيز ، الى ان تكونت البلورة التي نشاهدها كجسم كبير قد يصل الى 1.2 متر طولا و 0.6 متر في السمك وذات وزن قدره خمسة اطنان كالتي اكتشفت في امريكا اوكبلورات صغيرة جداً كالتي تستخدم في الحلي (الماس) ، وقد تكون هذه البلورات غاية في الصغر ، حيث لا يمكننا مشاهدتها بالعين المجردة. الذي نريد قوله هو ان البلورات

تختلف في الحجم اختلافا شاسعا ، ولابد من الاشارة الى ان البلورات قد تكون موجودة بشكل طبيعي (تبلورت في الطبيعة) او قد تكون اصطناعية معمولة في المختبرات ، للاغراض العلمية والتكنولوجية .

الشكل (1-3) يبين الهيئة الخارجية للتركيب البلوري والتي يفترض ان تكون نفسها تمثل التركيب الداخلي ولأصغر خلية او وحدة بناء .

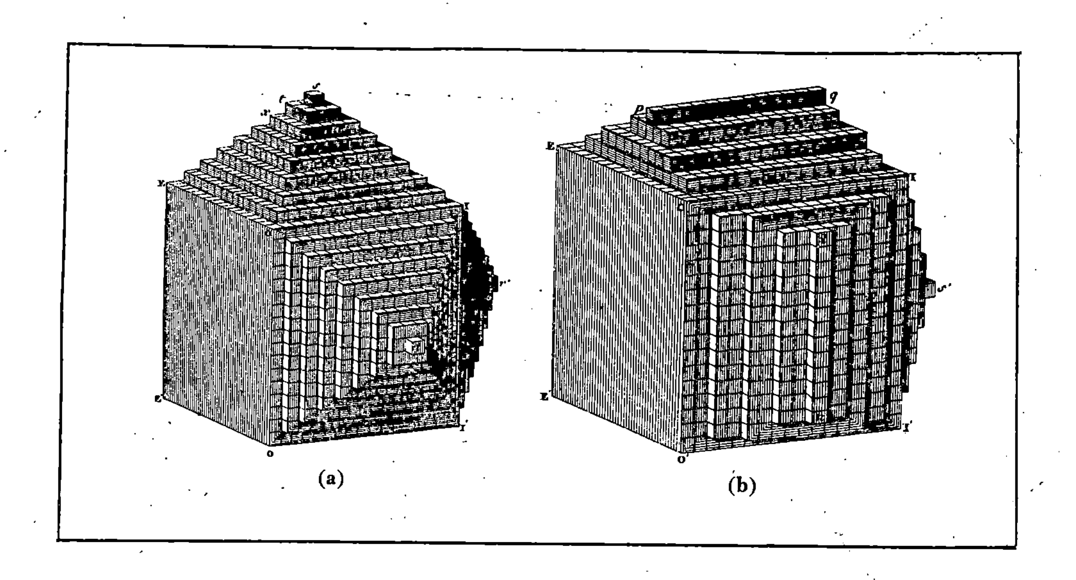
في الحقيقة يمكن ملاحظة ما تقدم مختبريا ، عند تربية البلورات، فلو افترضنا ان البلورة تنمو في ظروف قياسية معينة فاننا سوف نرى ان البذرة (Sead) البلورية تحافظ على شكلها وترتيبها الهندسي مهما كبر ونما حجمها وهذا يسند ملاحظة الاوائل (دون استعمال الاجهزة العلمية الحديثة) ، ان البلورة نمت من خلية اي وحدة بناء تشبه البلورة في هيئتها النهائية . ويمكن تقريب عملية نمو البلورة الى ذهن القارىء اكثر ، اذا فرضنا الخلية الاساسية او وحدة البناء هذه عبارة عن مكعب السكر وبأضافة هذه المكعبات الى بعضها البعض نحصل على مكعب هندسي ، قد يحتوي على الف مكعب صغير على سبيل المثال . ولا شك باننا نحصل على نفس بناء المكعب الصغير ولكن بأبعاد اكبر ويمكننا الحصول على نفس النتيجة لو بنينا جسماً وبترتيب هندسي متماثل من وحدة بناء سداسية مثلا او اشكال هندسية اخرى .

نحن نعلم ان الخلية هذه (وحدة البناء) تتكون من الذرات والجزيئات ، لذلك نقول ان البلورة عبارة عن صفوف دورية وذات ثلاثة ابعاد من الذرات .

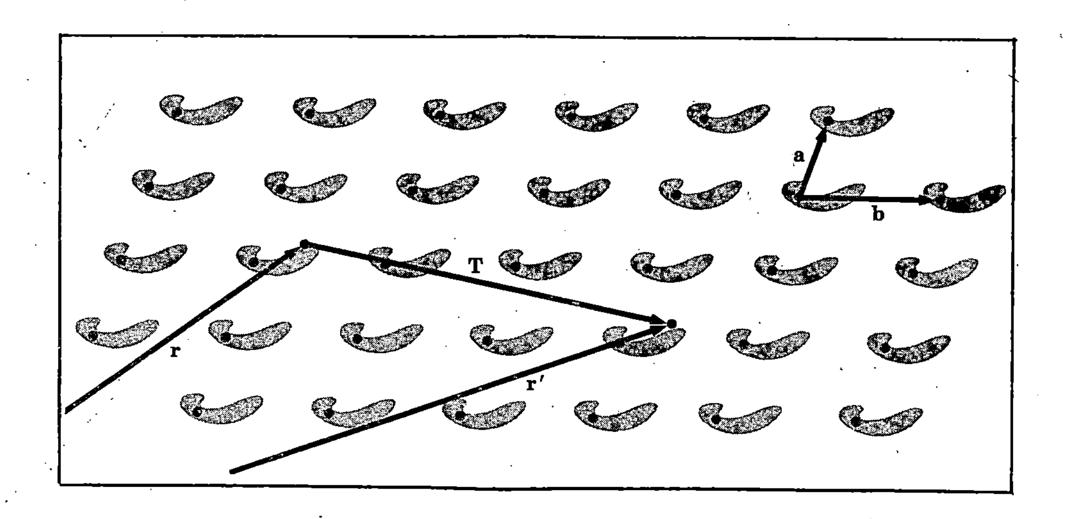
(Crystals are of three dimension periodic array of atoms)

لقد عني بعلم دراسة البلورات منذ القدم (crystallography) وخصوصا العاملين في حقل علم المعادن (Minerologist) ، وقد تمكن هولاء من تطوير نظمه (system) ، حيث وصفوا سطوح البلورة بواسطة الأدلة (indeces) وهي عبارة عن أعداد صحيحة للحالات جميعها .

لقد بقيت المعلومات مقتصرة على دراسة الشكل العام للبلورة وترتتبها الهندسي فقط ، حتى نهاية الربع الاول من القرن التاسع عشر ، حين اقترح Seebar ، بأن الخلايا الاساسية في البناء البلوري هي اشكال كروية ، كما وضع قانونا عمليا للقوى البينيه



شكل (3-1)



شكل (3-2)

للذرات (Interatonic forces) وأعتمد على نوعية التجاذب والتنافر لتفسير حالة استقرار الذرات المتشابهة في البناء البلوري .

يرجع تاريخ الانعطاف الكبير في علم البلورات الى سنة 1909 عندما بين العالم لاوى أمام الاكاديمية البافارية في ميونخ الصفات الموجيه للأشعة السينية مثل التداخل والحيود وفي نفس الجلسة بين فردريك وتبنيك نتائج تجاربهم العملية لحيود الاشعة السينية عن البلورات . لقد ظهر وبشكل جميل جدا ، كيف ان أنماط الحيود هذه ، يمكن تفسيرها على أساس البناء الدوري (Periodic) لذرات البلورات ومنذذلك التاريخ بدأ علم وتكنيك جديد لدراسة المادة بأستخدام حيود الاشعة السينية.

في الحقيقه بدء علم فيزياء الحالة الصلبه الذي نعرفه اليوم وتطبيقاته الضخمة منذ أكتشاف تكنيك حيود الاشعة السينيه في البلورات .

في نهاية هذه المقدمه التاريخية ، لابد لنا ان نذكر ، ان اول دراسة مفصله لتعين التركيب البلوري لكلوريد الصوديوم (ملح الطعام) والبوتاسيوم وبشكل تام بأستخدام الاشعة السينية قد تمت من قبل W.L.Bragg سنة 1913 ، ونشرت في مجلة الجمعية الملكية في لندن في نفس العام .

3.3 الصفوف الدورية للذرات Periodic arrays of atoms

لابد من تطوير لغة الرموز لدراسة علم البلورات ، حيث يكون من السهولة لمن يتقن هذه اللغة ان يكون بناء بلوريا من عدة رموز . ولابد أن نعترف بصعوبة هذه اللغة حيث تحتاج الى المصادر الام والخبره العلمية لاتقانها . لكننا سوف نحاول أعطاء بعض الأفكار المفيدة بصدد هذه اللغة والتي نعتقدها كافية لوصف بناء بلوري بسيط .

البلورة المثالية : تتكون من تكرار منتظم لوحدة البناء الثلاثية الأبعاد وتكون على هيئة متوازي مستطيلات في بناء البلورات البسيطة مثل بلورات النحاس ، الذهب ، والفضة والمعادن القلوية .

تحوي وحدة البناء على ذرة واحدة وقد تحوي على 100 ذرة في وحدة بناء بلورات المواد غير العضوية ومائة ألف أو أكثر في حالة بلورات المواد العضويه (مثل البروتين).

وقد تتكون تركيبة البلورات من ذرات العناصر المختلفة مثل NaCl أو قد تكون عبارة عن مجاميع لذرات عنصر واحد . ويمكن وصف تراكيب جميع البلورات بدلالة عامل واحد وهو الشبيكة الدورية (Periodic lattice) سوف تتكرر كلمة الشبيكة خلال هذا الفصل وفي جميع الفصول من هذا الكتاب حيث تكون الذرة أو مجاميع الذرات الملتصقة في نقاط الشبيكة هذه وعلى هيئة متوازي مستطيلات (Parallelpiped) الذرة أو مجاميعها في نقاط الشبيكة هذه تدعى بالأساس، (Basis) حيث ان تكرار هذه الأسس في الحيز هي التي تكون البلورة . لنبدأ الان في ترجمة ماذكرناه أعلاه الى لغة المصطلحات وبشكل دقيق أو تطوير اللغة التي طالما تكلمنا عنها من الكلمات المجردة الى بعض المعادلات الرياضية ، بعبّارة أدق التعبير عن الكلمات بالرموز.

4-3 المتجهات الانتقالية في البلورة الشبيكة

تعتبر البلورة المثالية تركيباً من ذرات مركبة في شبيكة (lattice) وتعرف بثلاثة متجهات أساسية هي a,b,c ويتوفر في هذا الترتيب الشروط التالية:

ان نمط ترتيب الذرات يظهر بنفس المظهر ودون تمييز اذا نظرنا اليه من نقطة خاصة مثل (r) ومن نقطة عامة مثل (r') :

$$r' = r + n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}3)$$

حيث تمثل n_1, n_2, n_3 أعداد صحيحة (1, 2, 3....) لتوضيح العلاقه بين (r') و (r) وكذلك القصد من الاعداد n_1, n_2, n_3 أنظر الشكل (2 - 3)

يبين الشكل مقطع من بناء بلوري عام ذي بعدين لودققنا النظر في ترتيب هذه الشبيكة لأستنتجنا ، ان الترتيب يظهر نفسه دون أختلاف لناظرين أحدهما من (r') ولأخر (r) على أن نعبر عن المتجه (T) بمضاعفاته.

وتكون مجموعة (T is integral multiple of the vectrors a,b,c) (r') (set) المعينة بالمعادلة (1-3) مجموعة النقاط تعين الشبيكة (lattice) . يظهر مما تقدم ان الشبيكة يمكن تعريفها بأنها ترتيب منظم ودوري للنقاط في الحيز . لقد جئنا بمفهوم

الشبيكة لتيسير فهمنا للبناء البلوري ، في الحقيقة ان الشبيكة مصطلح رياضي مطلق بالنسبة لحقيقة البناء البلوري .

و تتكون البلورة عندما تتواجد الاسس **(basis)** بهيئة متشابهة **(identical)** في نقاط الشبيكة فقط . يمكننا ترجمة ماتقدم الى معادلة منطقية كالاتى :

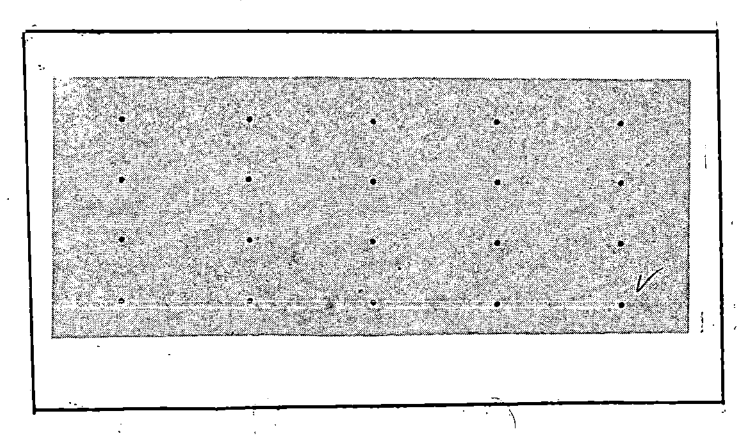
شبيكة + أسس = بناء بلوري

ويمكن تمثيل هذه المعادلة بالشكل التالي . شكل **(3-3)**

هناك نوعان ن الشبيكة بدائية **(Primitive)** وغير بدائية . وتكون الشبيكة بدائية عندما تظهر هي والمتجهات بنفس الهيئة والترتيب دون أي تغير لناظرين من **(r)** و **(r′)** . وبعبارة أخرى ، عندما تكون ترتيب ذرات الشبيكة مماثلة للناظرين من **(r)** و **(r′)** .

قد يظهر للقارئ ، أن هذا التعريف تافه ، ولكن يضمن عدم وجود بناء ذى حجم أصغر من ذلك المتضمن في التعريف أعلاه . وان الشبيكة البدائية تتحقق دائما بالمعادلة **(1-3)** وذلك بأختيار ملائم للاعداد (n_1 , n_2 , n_3 ,)

أن كثافة نقاط الشبيكة البدائية أكبر من كثافة نقاط الشبيكه غير البدائية



شكل (3-3)

ولأي بناء بلوري يكون عدد الذرات في أسس الشبيكة البدائية أقل من تلك التي في الشبيكة غير البدائية ، تستعمل المتجهات الأنتقالية البدائية بكثرة (a, b, c,) للتعبير أو لتعريف احداثيات البلورة ، مع أنه يمكن أستعمال متجهات أنتقالية غير بدائية اذا كان ذلك أكثر ملائمة أو أبسط استعمالا . ومن المعروف ان المتجهات (a,b,c) تكون الأضلاع المتجاورة لمتوازي المستطيلات في الشبيكة .

5-3 عملية نقل الشبيكة Alattice translation operation

تعرف في بعض الأحيان عملية نقل البلورة (Cryatal tranlation &peration) بأنها ازاحة البلورة (الشبيكة) موازية لنفسها (Parallel to itself) بواسطة متجة أنتقالي في البلورة (T) .

$$T = n_1a + n_2b + n_3c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}3)$$

حيث يمكن ربط أي نقطتين في الشبيكة بواسطة المتجه (T) كما في الشكل

6-3 عملية التناظر : Symnetry operation

عندما نحاول وصف بناء بلوري ، تبرز أسئلة عديدة يجب الاجابة عليها ومن هذه الأسئلة .

١) ماهي الشبكة ؟

٢) ماهي المتجهات (a,b,c) التي ننوى أستخدامها لغرض وصف الشبيكة ؟

٣) ماهي الاسس ؟

٤) ماهي عمليات التناظر التي لو أجريت على البلورة لما تغير وضعها الاصلي أو كما يقال تحمل البلورة الى ذاتها ؟

ان علم التناظر البلوري يحتاج الى كتاب متخصص بحد ذاته ، لذلك لايمكننا هنا الاذكر مختصر مقيد لعناصر التناظر .

يمكن تقسيم التناظر الممكن في البناء البلوري الى ثلاثة أنواع وهي :

أ - النقطة (Point)

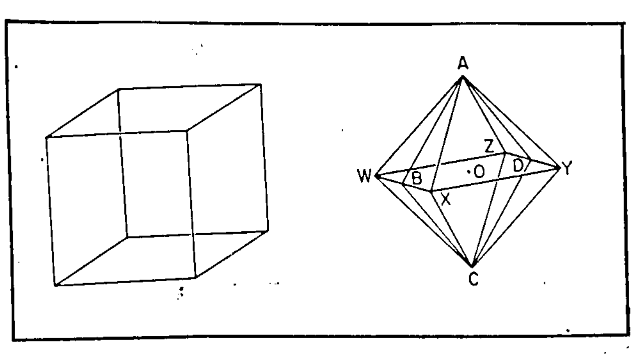
ب - الخط (Line)

ج - المستوى (Plane)

وتدعى هذه العناصر بمركز التناظر (Centre Symmetry) . محور التناظر (axis of Symmetry) وكمستوى التناظر (Plane of Symmetry) على التوالي .

يكون للبلورة مركز تناظر اذا كانت سطوحها الزوجية على طرفي البلورة توازي بعضها البعض ، مثل المكعب والمجسم الثماني (Octahedron)

الشكل التالي (4-3) يبين أمثلة واضحة لمركز التناظر .



شكل (4-3)

مستوي التناظر : هو المستوي او السطح الذي يقسم البلورة الى جزئيـــن . . .
متشابهين ، كل جزء يعتبر صورة مرآة للاخر كما في الشكل (3-5)
في المجسم الثماني ، اي مستوى يمر خلال الرووس
يعتبر مستوى تناظر ABCD , WXYZ
للجسم محور تناظر ، اذا مادور حول ذلك المحور بحيث لايستجد أي تمييز عن الوضع الذي كان عليه قبل بدء الدوران . مثال ذلك لديك قلم سداسي الاوجه ، ولنفرض عدم وجود أي كتابه عليه ، فأذا مادور بزاوية قدرها 60° فأنك لاتميز الوضع الجديـــد للقلم عما كان عليه قبل التدوير .

في هذه الحالة ، نقول هذا القلم سداسي التناظر (Six-fold Symmetry)
كما للمجسم الثماني الاعتيادي والمكعب مراكز تناظر واحدة ، وثلاثة محاور (من ثلاثة أنواع) .

وتسعة مستويات تناظر ، وتعتبر هذه الكمية من عناصر التناظر أكبر كمية في كل أنواع التراكيب البلورية . من وصف عناصر التناظر أعلاه ، يظهر جليا ، أن مركز ومستوى ، التناظر يمتلكان خاصية منفردة (Unique) بينما يظهر محور الدوران وكأنه يملك عددا لانهائيا من الاحتمالات ، هناك بعض العملات المعدنية الاجنبية تمتلك تناظرا سباعيا ، وهذا لايحدث في البناء البلوري .
لماذا ؟

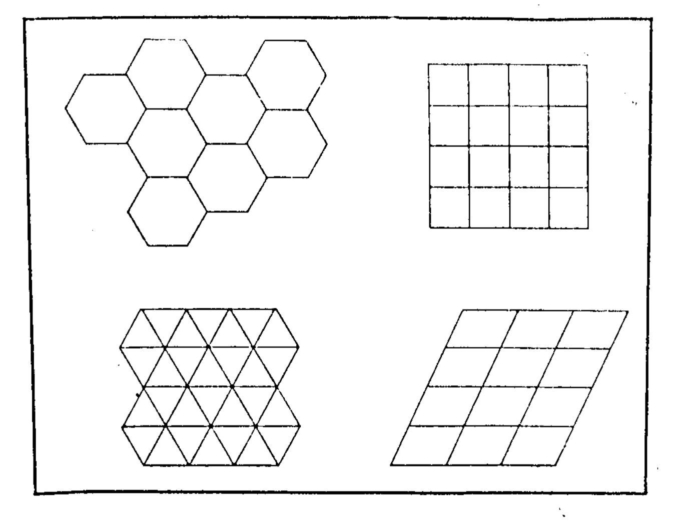
الجواب على هذا السؤال في منتهي البساطة ، نقول أنه لايمكن بناء متماسك من أجزاء سباعية التناظر، ولكي نتاكد من ذلك ، خذ قطعة من الورق السميك وأقطع

شكل (3-5)

منهاعشرين قطعة سباعية وحاول أن ترصف هذه القطع بشكل متماسك مهما حاولت فأنك ستجد بعض الفراغات البينية قد بقيت بينها ، ولايمكنك الحصول على نمطمتراص (Pack) الاشكال التي يمكن تراصها بشكل تام .

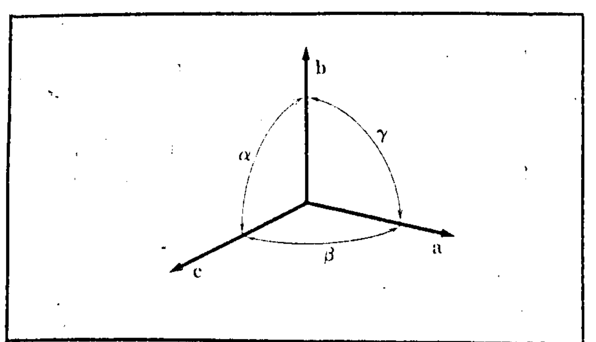
متوازي الأضلاع (ثنائية التناظر) ، مثلث متساوي الاضلاع (ثلاثي التناظر)، مربع (رباعي التناظر) ، الشكل السداسي (hexagon) سداسي التناظر ، كما مبين في الشكل (6-3)

أن البناء البلوري بشكل عام لايمتلك تناظرا محوريا غيرذلك المبين في الشكل (6-3) في الحقيقة يمكننا أضافة تناظر محور أحادي وهذا يعني غياب أو عدم وجود تناظر .



شكل 6-3

هناك علاقة وثيقة بين المتجهات a,b,c (محاور البلورة) والزوايا التي بينها ∝ B، ɣ كما في الشكل (7-3) لهذه الزوايا أهمية كبيرة في موضوع تعيين البناء البلوري .



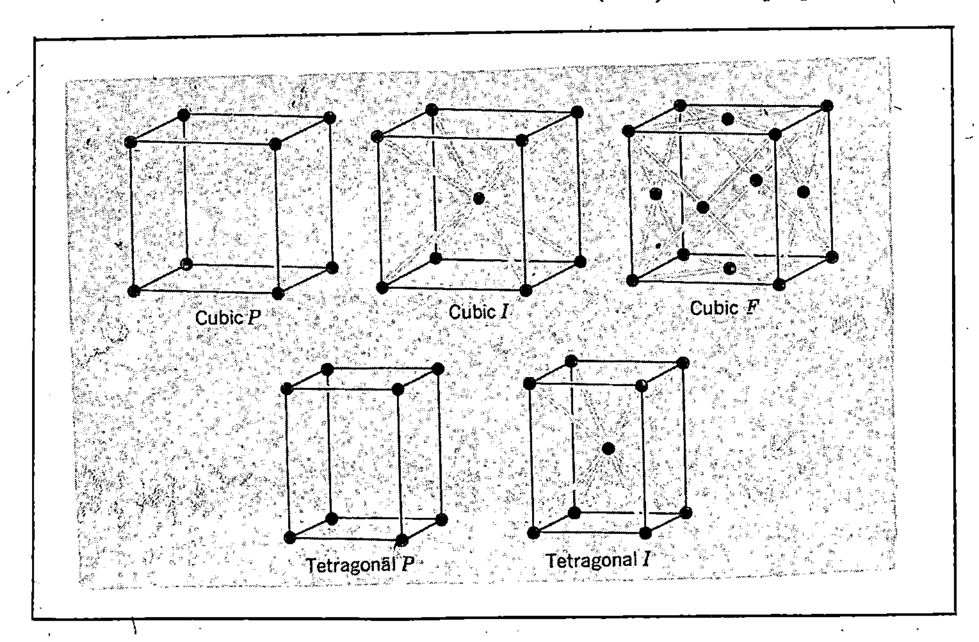
شكل (3-7)

وعلى هذا الاساس (علاقة محاور البلورة بالزوايا) تم تقسيم أنواع البناء البلوري الى سبعة أنظمة كما هي مدرجه بالجدول أدناة :- –

جدول 3-1

النظام		العوامل	الزوايا
مكعبة	Cubic	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90°$
رباعيةالاضلاع	tetragonal	$a=d=90°$	$\alpha=\beta=\gamma=90°$
ثلاثيةالاضلاع	Trigonal	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma\neq90°$
سداسيةالاضلاع	Hexagonal	$a=b=c$	$\alpha=\beta=90°, \gamma=120$
معينة	Orthorhombic	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90°, \beta=90$
أحاديةالميل	Monoclinic	$a=b=c$	$\alpha=\gamma=90°, \beta=90$
ثلاثية الميل	Triclinic	$a=b=c$	$\alpha\neq\beta\neq\gamma$

نماذج من البلورات المصنعة تحت الانظمة في الجدول (3 - 1) مرسومـة بشكل تخطيطي في الشكل (3-8)



شكل (3-8)

ولننظر الى نظام المكعب (Cubic) ، حيث له أهمية خاصة هنا لأن جميع المعادن تنتمي الى اهذا النظام تقريبا

ينقسم هذا النظام الى ثلاثة أقسام :

أ – مكعبة متمركزة الواجهات ، حيث نجد هناك أسساً متمركزه على الأوجه أضافة الى وجودها على الاركان . Face Centre Cubic

ب – مكعبة بسيطة : متمركزة وتتخذ الاسس مواقعها في أركان المكعب فقط Simple cubic (Sc)

ج – مكعبة متمركزة المركز ، حيث نجد هناك أساً في مركز المكعب أضافة الى أركانه " Body centred cubic, Bcc"

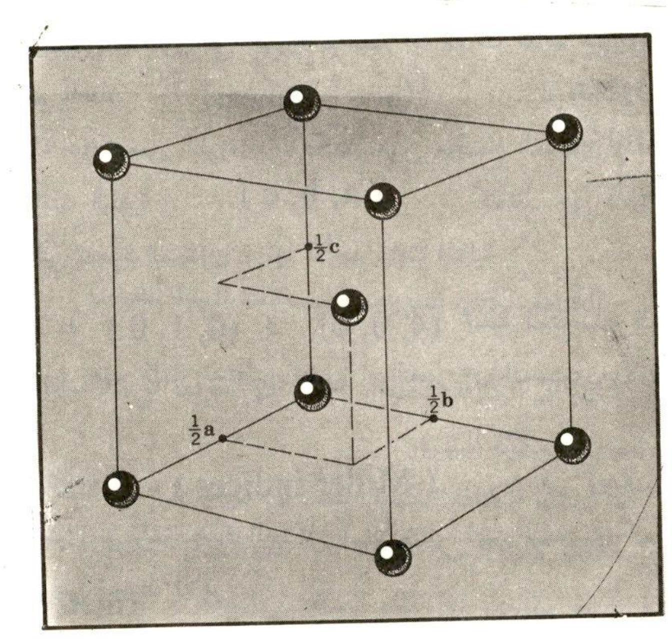
سنحاول أدراج أهم الخواص الفيزياوية لنظام مكعب التبلور بأنواعه الثلاثة في الجدول التالي (3-2)

جدول 3-2

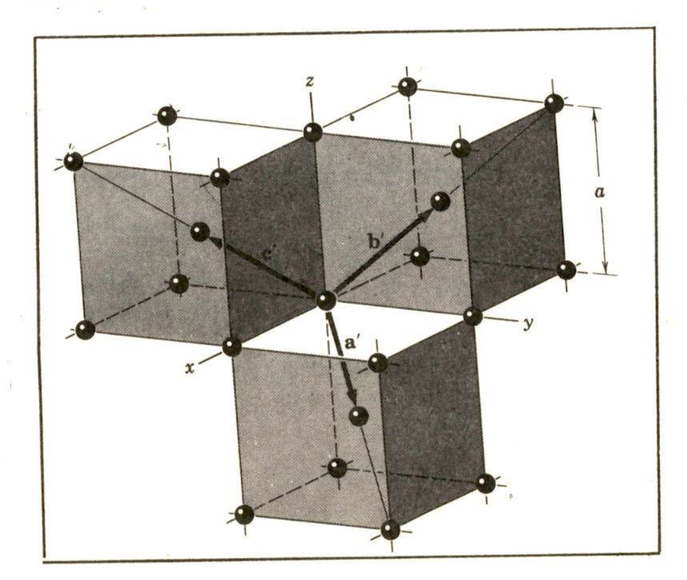
الخواص العامة	مكعب بسيط	مكعب متمركز الجسم	مكعب متمركز الاوجه Fcc
١) حجم وحدة البناء الاعتيادية	a^3	a^3	a^3
٢) عدد نقاط الشبيكة في البناء	1	2	4
٣) حجم وحدة البناء البدائية	a^3	$\frac{1}{2}a^3$	$\frac{a^3}{4}$
٤) عدد نقاط الشبيكة في وحدة الحجوم	$\frac{1}{a^3}$	$\frac{2}{a^3}$	$\frac{4}{a^3}$
٥) عدد اقرب النقاط المجاورة الاولى (الجيران الأول)	6	8	12
٦) المسافة لاقرب نقطة مجاورة	a	$\frac{a\sqrt{3}}{2}$	$\frac{a}{\sqrt{2}}$
٧) عدد النقاط المجاورة الثانية	12	6	6
٨) المسافة للنقطة المجاورة الثانية	$a\sqrt{2}$	a	a

والشكل (3-9) يبين وحدة بناء بدائية من نوع BCC والشكل (3-10) يوضح نفس وحدة البناء هذه اضافة الى المتجهات الناقلة البدائية .

يمكن الاستنتاج من الشكل ، أن وحدة البناء البدائية B.C.C تحتوي على نقطة شبيكة واحدة ، بينما وحدة البناء الاعتيادية (Conventional unit cell) تحتوي على نقطتين أو أربع .



شكل (3-9)



شكل (3-10)

يمكن الحصول على وحدة البناء البدائية وذلك بتكملة المنشور السداسي المنتظم .

تكون وحدة البناء في النظام الثلاثي الأضلاع(Trigonal) عادة منشوراً معينيـاً (rhombohedron) منتظما وكوحدة بناء بدائية .

علاقة البناء المعيني والمنشور السداسي يوضح في الشكل (3-11)

موقع وأتجاهات المستويات في البلورة : Position and orientation of Planes in Crystals

يمكن تعيين موقع وأتجاه المستوى في البلورة بواسطة اية ثلاث نقاط فيها على شرط ان لاتكون على خط واحد (not collinear) . لو وقعت كل نقطة من هذه النقاط الثلاثة على محور البلورة ، لأمكننا تعيين موقـع المستوى وذلك بتعيين أحداثياتها بدلالة ثوابت البلورة (a, b, c) كمثال على ذلك :

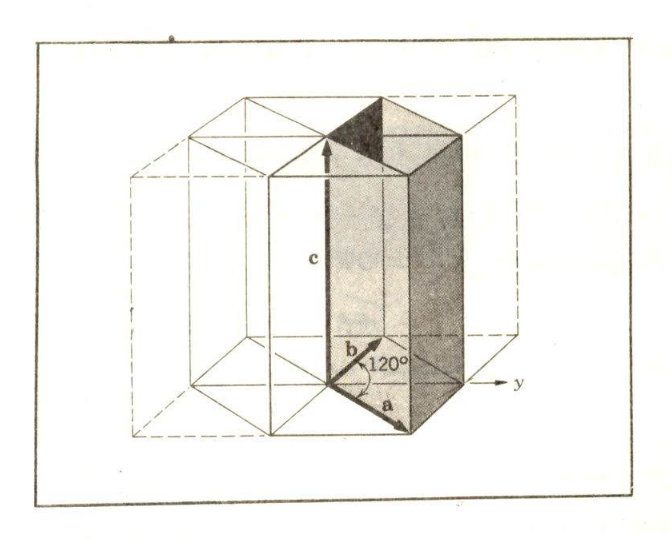
نفرض ان النقاط والذرات التي تحدد المستوى ، لها الأحداثيات التالية :

(0, 0, 2) و (0, 1, 0) و (4, 0, 0) نسبة لمتجـه المحور من نقطة اصل اختيارية ، عند ذلك نستطيع تعيين أو التعبير عن المستوى بالارقـام (4, 1, 2)

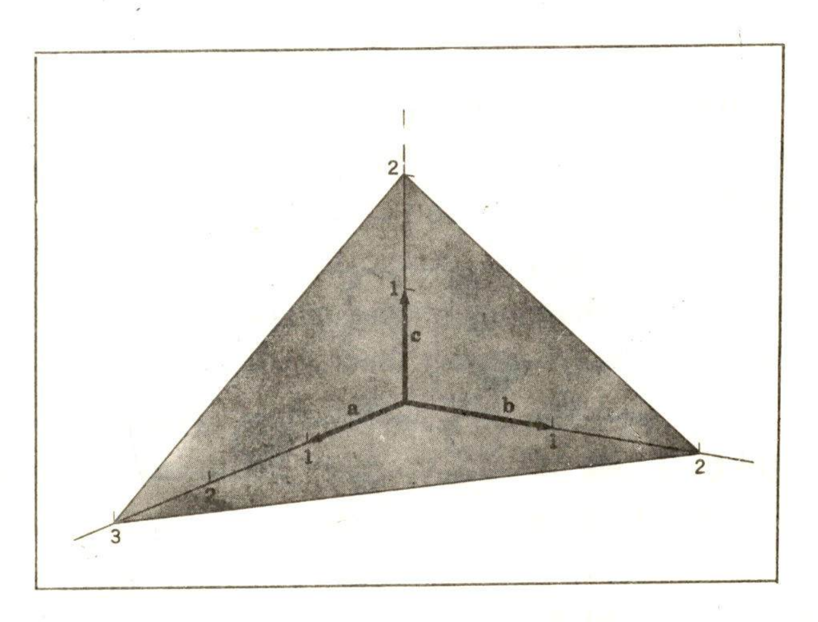
تستعمل عادة دلائل ميلر (Miller indices) في وصف بناء البلورة وتعيين اتجاه المستوى ، تشتق هذة الدلائل أوبالأحرى تعين للمستوى كما في الشكل (3-12) لغرض تبسيط الأمر .

نوجز الطريقة بالخطوات التالية :

١ – ايجاد تقاطع المستوى مع أحداثيات البلورة بدلالة ثوابت البلورة (a, b, c) تسمى بمتجهات النقل وكذلك بأحداثيات البلورة وقيمها المطلقة هـي ثوابت البلورة أو الشبيكة ، حيث تستعمل كلمة البلورة والشبيكة للتعبير عن نفس المفهوم وقد تكون الأحداثيات بدائية أو غير بدائية .



شکل 3-11



شکل 3-12

٢ – تأخذ مقلوب هذة الأرقام ونختزلها الى أصغر ثلاثة أرقام ، بعبارة أخرى اذا ظهرت النتيجة . . .

(644) فنأخذ (322) ونكتبها بين قوسين ممثلة لدلائل ميلر (hkl)

مثال : للمستوى الذي يتقاطع مع الاحداثيات في 4, 1, 2 تأخذ المقلوب $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{1}$ و $\frac{1}{4}$

حيث تكون دلائل ميلر هي (142) أما اذا كان التقاطع في اللانهاية (متوازيا)

فيكون دليل ميلر عند ذلك الاتجاه يساوي صفراً :

لتوضيح كيفية تعيين دلائل ميل المستويات المختلفة في البلورة ، أنظر الشكل (13-3).

وقد تشير دلائل ميلر (hkl) الى مستوى واحد أو الى مجموعة من المستويات المتوازية . اذا تقاطع المستوى مع احداثيات في الجهة السالبة فأن الدلائل أو الدليل يكون سالبا (neg) ويوضح ذلك يوضع خط صغير الرقم ، مثال $(h\bar{k}l)$ ماذلك يعني ان k تقع في الجزء السالب .

ولأوجه وحدة البناء ، المكعب ، دلائل ميلر التالية .

$(00\bar{1})$ و $(0\bar{1}0)$ و $(\bar{1}00)$ و (001) و (010) و (100) و

للأختصار تكتب هذه المجموعة بهيئة {100} حيث ان هذه المجموعه متكافئة بالنظر. في نظام المكعب تعني دائما بالمستويات (100) ، أما المستوى (200) فيعني ذلك أنه مواز للمستوى (100) ولكن يقطع الاحداثي عند $\frac{1}{2}$ a

دلائل الأتجاه في البلورة (The indices of direction in acrystal)

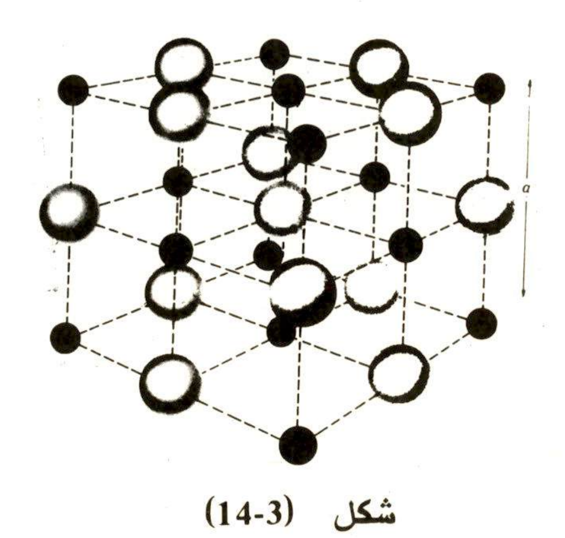
يعبر عنها بمجموعة من الأعداد الكاملة (أصغر مايمكن) لها نفس النسبة كمركبات للمتجه (vector) في الأتجاه المطلوب تدل على المتجهات المحورية . والأعداد الكاملة هذه تكتب عادة بين قوسين مربعين وبالشكل التالى [hkl] وفي البلورة ذات التركيب المكعب ، يكون أتجاه المحور x هو[100] وأتجاه المحور y هو [010] .

نحن نعني بصورة عامة بالاتجاهات العامه (hk l)في المكعب الأتجاه (hk l) يكون عموديا على المستوى (hk l) ، بعبارة أخرى لها نفس الدلائل. ولكن هذا ليس صحيحا في البناء البلوري ذي الأنظمة الأخرى (غير المكعبة).

(100) (110) (111)

(200) $(\bar{1}00)$

شكل (13-3)



شكل (14-3)

8-3 الموقع داخل وحدة البناء Position in the unitcell

يتم تعيين موقع النقاط داخل وحدة البناء (الخلية) (Unit cell) بدلالة الاحداثيات ، حيث يكون كل احداثي جزءا من أطوال احرف المحاور

وتكون نقطة أصل الأحداثيات في وحدة البناء (face centered) ركن من أركانها لذلك تكون احداثيات النقطة المركزية في البناء في الشكل (9-3) $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ هي وأحداثيات النقاط مراكز أوجه وحدة البناء

$$\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0\ ,\ 0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ ,\ \frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$$

واحداثيات النقاط في مراكز وحدة البناء (bcc) هي $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ بدلالة أطوال محاور وحدة البناء .

8-3 بعض التراكيب البلورية البسيطة ·

يوضح الشكل (3-14) تركيب بلورة كلوريد الصوديوم (NaCl) حيث يكون نظامها البلوري هو fcc فيها الأسس (الذرات) هي عنصر Na و Cl والمسافة بينهما هي نصف القطر الجسمي لوحدة البناء (وحدة البناء المكعب) . هناك أربع جزيئات Nacl في كل مكعب ، وأحداثيات الذرات في وحدة البناء هي كالأتي .

$$Na: 000,\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0,\ \frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}\ ,\ 0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$$

$$Cl: \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ ,\ 00\ \frac{1}{2},\ 0\ \frac{1}{2}\ 0\ ,\ \frac{1}{2}\ 00$$

- هناك ست ذرات من cl تكون مجاورة (أقرب جيران) لكل ذرة Na والعكس صحيح

- هناك عدة مواد بلورية لها نفس الترتيب البلوري لكلوريد الصوديوم ومنها على سبيل المثال .

Crystal البلورة	الحرف a A°
LiH	4.08
NacL	5.63
Kcl	6.29
Pbs	5.92
AgBr	5.77
MgO	4.2
MnO	4.4
Uo	4.92

9-3 الكثافة الكتلية للبلورات والمسافات البينية للذرات :

لاشك ان الكثافة الكلية ρ التي نعرفها في الاستعمالات اليومية ذات صلة بكتل الذرات المكونة للبلورة .

كما تعتمد الكثافة الكتلية أيضاً على درجة رص (packe) الذرات في التركيب البلوري فكلما كان الرص متصلا (close packed) كانت الكثافة أكبر .

ولنبدأ بالبناء البلوري ذي نظام المكعب البسيط (simple cubic system) لنأخذ وحده بناء مكعب طول حرفه (a) «فتكون المسافات البينية للمستويات الذرية» ((d)) مساوية (a) في هذه الحالة . $a = d$

ويكون عدد الذرات في وحدة البناء بهذا النظام البسيط هو ذرة واحدة (الذرات الأخرى تعود لوحدات البناء المجاورة) .

لنفرض كتلة الذرة (m)

وبذلك تكون (3 – 3) .... $m = M/N_o$

حيث تمثل M الوزن الجزيئي

و عدد أفوكادرو (No)

الحجم المصاحب لكل ذرة = a^3

تكون الكثافة $\rho = M / N_0 a^3$

لقد افترضنا هنا ، ان الذرات ، كرات صلدة ومتراصة ، والمسافة بين مركزي ذرتين هي قطر الذرة الواحدة .

ولنأخذ مثالا عمليا : وليكن في النظام (bcc) . من الجدول رقم (3 - 2) حرف وحدة البناء (a) والمسافة لأقرب جيرانٍ هي المسافة في ركـــن المكعب الى مركز المكعب أي : $d = a\sqrt{3/2}$

وحجم المكعب هو (a^3) .

وعدد الذرات في وحدة البناء هي إثنتان ، لذلك يكون الحجم المصاحب لهاتين الذرتين هو $\frac{a^3}{2}$ فتكون الكثافة هي :-

$$\rho = \frac{2M}{N_0 a^3} \qquad (4-3)$$

لنأخذ بلورة الصوديوم (Na) حيث ان كثافتها هي 0.97 غم / سم^3 و M = 23 بذلك يكون طول الحرف :

$$a = (2M / N_0 \rho)^{1/3} = \left(\frac{2 \times 23}{6.02 \times 10^{23} \times 0.97}\right)^{1/3} = 4.28\ A^0$$

لاحظ كيف استطعنا حساب حرف وحدة البناء (وهي كمية صغيرة جدا) بدلاله كمية عيانية وهي الكثافة التي تقاس بسهولة في المختبر .

ومن ذلك نستطيع حساب المسافات البينيه للمستويات الذرية أيضا :

$$d = a\sqrt{3/2} = 3.71\ A^0$$

وبأستخدام هذه الطريقه نستطيع حساب قيم تلك الثوابت لكثير من البلورات ؛ كما يمكننا العكس ، وهو حساب الثوابت بأستخدام تكنيك الحيود الذي سنشرحه ومن ثم استنتاج الكثافة بدقة كبيرة .

9-3 التبلور : crystalization

لقد وضعت نظريات عديدة لتفسير عملية التبلور أو تكوين البلورات ، مثلا تتكون بلورة الماس (Diamond) نتيجة لتبلورسائل الكاربون المنصهرتحت ظروف من درجة الحرارة والضغط العاليين .

بصورة عامه ، يمكننا تنقية البلورات مختبريا وذلك بأذابة المواد المطلوب تبلورها بمذيب ثم السماح للمذيب بالتبخر ببطئ وبذلك نحصل على بلورات تلك المواد .

تتم عملية التبلورفي هذه الطريقة ، عند وصول تركيز المادة الى فوق الأشباع (أوالأشباع المفرط) ، وعند توفر نواة صلبة في السائل تتبلور المادة حولها غاطسة الى القعر ، ثم تكبر مع الزمن وذلك بأضافة وحدات بناء جديدة في الاتجاهات الثلاثة .

اذا اردت ان تنمي بلورة جيدة وخالية من العيوب نسبيا ، فتتبع الطريقة الأتية : أعمل محلولا ذا تركيز مفرط الأشباع في أناء كبير نسبيا ، حاول أبعاد الاناء عن مصادر الاهتزازات ، ثم علق جسيماً صغيراً (جنيناً) ، سوف نلاحظ نمو البلورة مع الزمن حول ذلك الجنين وإذا كان التبخر بطيئاً سوف نحصل على بلورة كبيرة .

الطريقة المتبعة في مختبرات البحوث لتنمية البلورات الاحادية هي :

١ – طريقة تبخير المادة في الفراغ (vaccum) وعلى سطح بلوري أخر وبشكل بطيئ وحسب نوع مادة الاساس (substrate) بهذه الطريقة نحصل على بلورة لها نفس التركيب البلوري للسطح المنجز عليه تدعى هذه بطريقة التنميط (eptixial)

حيث يمكننا تنمية بلورات لكافة المواد تقريبا بهذه الطريقة . لابد ان نذكر ان البلورات التي تربى بهذه الطريقة تكون صغيرة ورقيقة جدا وغالبا ماتستخدم لاغراض البحث العلمي بواسطة حيود الأشعة السينية أو حيود الالكترونات وكذلك تستخدم العينات البحث العلمي بواسطة حيود الأشعة السينيه أو حيود الالكترونات وكذلك تستخدم تعينات للفحوصات البنائية بأستخدام المجهر الالكتروني .

٢ - بأستخدام جهاز خاص (جهاز تنمية البلورات) . حيث يبدأبجنين يوضع في محيط متحكم فيه من ناحيه درجة الحرارة والضغط وتركيز المحلول وغير ذلك ، بهذه الطريقة يمكننا الحصول على بلورات كبيرة جدا ، تستخدم للاغراض الصناعية .

يتم الحصول على التراكيب البلورية لكثير من المواد الصناعية المستعملـــه في حياتنا اليومية من منصهر المواد . فعند تبريد منصهر المواد تبريدا بطيئا تتم عملية التبلور ، كما هو الحال في صناعة الصلب والالمنيوم مثلا ولكن لاتكون هذه المواد أحادية البلورة ، وانما عبارة عن تركيب بلوري متعدد (Polycrystalline)

فأذا نظرنا الى قطعة من الألمنيوم بعد غمسها في حامض ، نستطيع رؤية القطعة مكونة في الحقيقة من أجزاء صغيرة من الحبيبات (grains) بينهما حدود واضحة تدعى بحدود الحبيبات (grain boundary) .

ان لحجم هذه الحبيبات وتركيب الحدود اهمية صناعية كبيرة ، حيث تعتمد عليها الخواص الميكانيكية والفيزياوية للمواد الى درجة كبيرة . لغرض التوسع في هذا الموضوع ، أنظر الى مصدر في علم فيزياء المعادن (Physical metallurgy) .

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

حسن يوسف الكويتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط
https://archive.org/details/@hassan_ibraheim

الفصل الرابع

1.4 اتجاهات الحزم الحائدة The directions of diffracted beams

مقدمة :

بعد مناقشتنا لخواص الاشعة السينية الفيزياوية وكذلك التركيب البنائي للبلورات

سنحاول الان الربط بين الاثنين ومن خلالهما نحاول مناقشة ظاهرة حيود الاشعة السينية

وذلك للحصول على معلومات غاية في الأهمية عن تراكيب المواد ، سواء مايتعلق بفيزياء الحالة الصلبه أو مايتعلق بفيزياء المعادن (physical metallurgy).

كما ذكرنا سابقا ، ان العالم الالماني فون لاوى ، هو أول من وضع أسس علم حيود الاشعة السينية في الاتجاة الذي نلمسه اليوم . لقد طور لاوى الموضوع بالشكل التالي :

بما ان الضوء الاعتيادي يحيد عند مروره خلال شبكة ذات فتحات صغيرة بحيث يمكن مقارنتها بطول موجة الضوء ويمكن ملاحظة هذا الحيود على شاشة كنقاط اوكخطوط تعتمد على التركيب البنائي لنموذج الموضوع في مسار الضوء .

أن الأشعه السينية موجات كهرومغناطيسيه ذات طول موجه في حدود $1A^0$.

كما ان لدينا البلورة ذات البناء البلوري الذي هو عبارة عن نمط ذي ترتيب هندسي ويكرر نفسه في الحيز وبمسافات بينية قريبة من طول موجه الاشعة السينية .

فعند مرور الأشعة السينيةفي بلورة ذات سمك مناسب نحصل على ظاهرة الحيود هذا ماحدث فعلا وعمل تطورا في علم حيود الأشعة السينية حتى أصبحت تطبق في مختبرات الباحثين وفي مختلف المجالات .

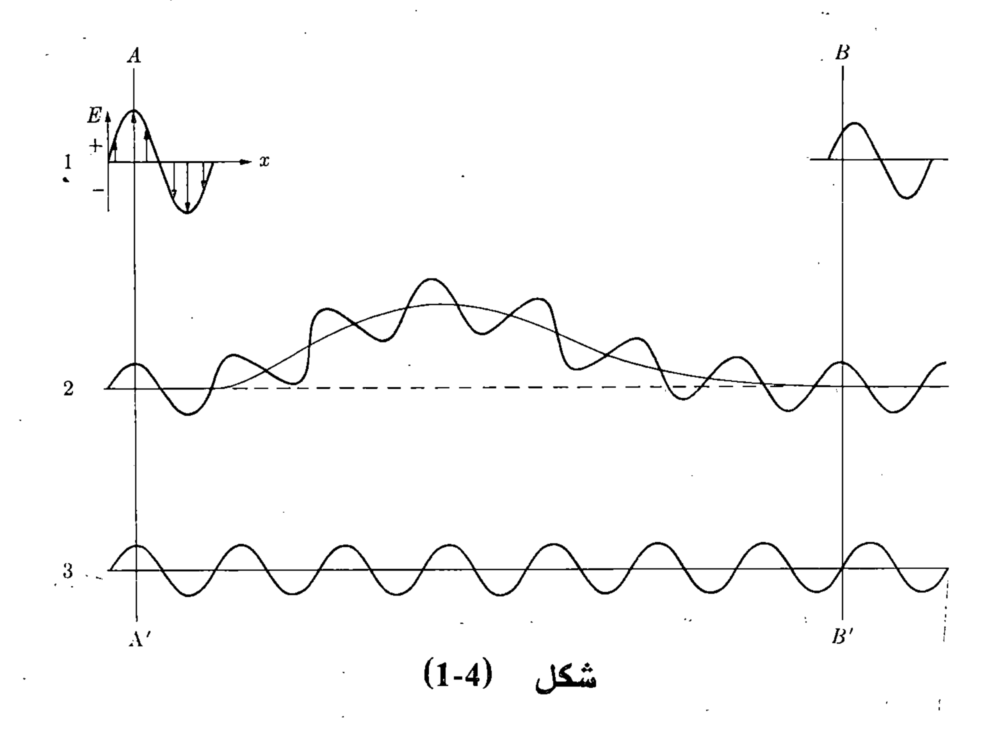
2.4 حيود الاشعة السينية : x-ray Diffraction

في الحقيقة عندما نريد التحدث عن الحيود ، يظهر وكأننا نعني التداخل فمن الصعب في هذه الحالة التفريق بين الاثنين ، لذلك نقول ، يحدث الحيود عندما يكون هناك فرق بين طوري (phases) موجتين او أكثر وينتشران في نفس الأتجاه تقريبا .
ولايضاح الفرق بين طوري الموجتين لنعتبر حزمة الأشعة السينية رقم (١) في الشكل (**1-4**) المنتشرة من اليسار الى اليمين ، لتبسيط الامر ، سوف نعتبر هذه الحزمة أو الموجه مستوية ومستقطبة (ليمكننا رسم متجه المجال الكهربائي للموجه E في مستوى واحد) ..

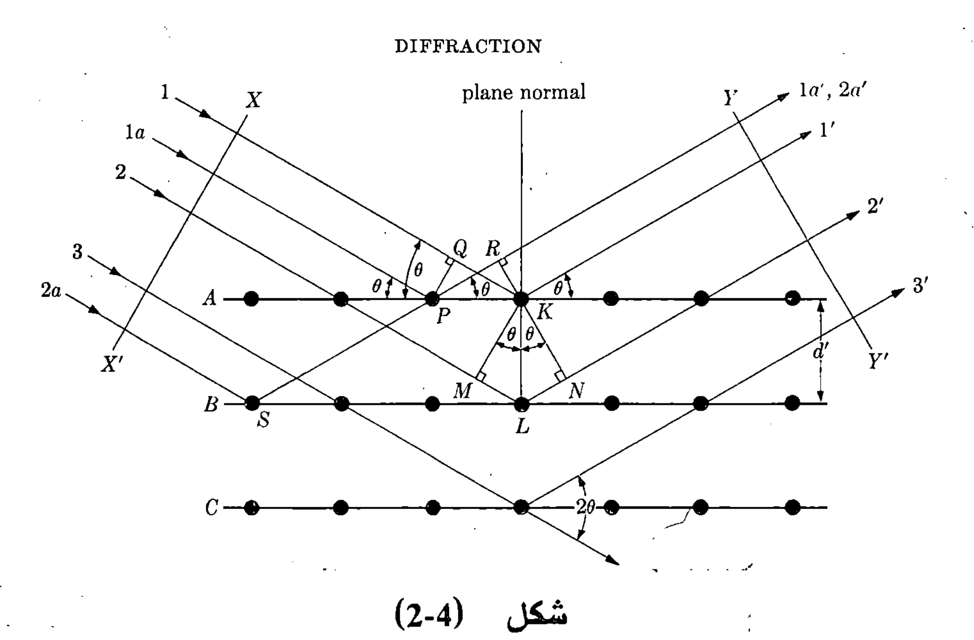
ولنتخيل ان هذه الحزمه تتكون في الحقيقة من موجتين (3) و (2) كل واحدة من هاتين الموجتين لها نصف سعة (Amplitude) الموجه الاصلية (1).
ولهما نفس الطور على جهة الموجه AA' (wave front)
أي بعبارة أخرى ان مجاليهما الكهربائيين (متجهان) متساويان في القيمة والاتجاه في في اية لحظة عند النقط المقاسة بأتجاه أنتشار الموجه in phase

لنفرض الان تجربة خيالية والتي يكون الاشعاع (3) منتشراً على خط مستقيم ، بينما الأشعة (2) تسير على منحني قبل ان تلتقي بالأشعاع (3) . وبعد ان أستأنفت الموجتان مسيرهما في الاتجاه الأصلي ، لنتفحص الوضع على جبهه الموجة BB' لسعة الاشعاع (2) قيمة عظمي (maximum) على هذه الجبهة . بينما الموجة سعتها (3) تصل الى الصفر ، لذلك فأن الموجه (2) و (3) يوجد بينهما فرق في الطور (out of phase)

أما اذا أضفنا الموجتين لبعضهما نجد ان الموجه (1) ستكون لها السعة المبينة في أعلى الشكل (4-1) الجهة اليمنى .


A
B
E
+
−
x
1
2
3
A′
B′

شکل (1-4)


DIFFRACTION
plane normal
1
1a
2
3
2a
X
X′
Y
Y′
1a′, 2a′
1′
2′
3′
Q
R
θ
P
K
M
N
A
B
C
S
L
d′
2θ

شکل (2-4)

ولو أفترضنا ان قيمة سعة الموجه (2) و (3) هي وحدة واحدة (Unity)
عند ذلك تكون قيمة سعة الموجة (1) في الجهة اليسرى هي (2) بينما تكون قيمة
سعة الموجه (١) في الجهة اليمنى تساوي 1.4. اذا أفترضنا ان المتجه E بتغير مع $\times$ جيبيا
لذا يمكن أن نستنتج مايلي :

١ – الفرق في طول مسارات (المسافات) المقطوعة يودي الى فرق في الطور

٢ – فرق الأطوار تؤدي الى تغيير في سعة الموجه .

كلما كان الفرق كبيرا في طول المسارات المقطوعة كان فرق الطور كبيـــرا .
حيث ان طول المسار يقاس بوحدات طول الموجة ، كذلك فرق الطور يقنس بوحدات
طول الموجه أيضا . فلو كان طول مسار الموجه (2) المبين في الشكل (4-1) أطول مما
هو يظهر بربع طول الموجه فأن فرق الطور يساوي نصف طول الموجه لذا يكون الشعاعيين
(3,2) في طورين مختلفين على جبهة الموجه BB' الذي يلغي احداهما الأخر
(annul each other). والتفسير الفيزياوي لذلك هو كالأتي :

في الوضع الأخير ، يكون متجه المجال الكهربائي لكل اشعاع أما صفرا أو في
اتجاهين متضادين $(180)^\circ$ أما اذا كان طول مسار الموجه (2) المتغير بثلاثة أرباع
طول الموجه ، لتسبب ذلك في ظهوو الموجتين 3,2 وكأن لهما نفس الطور ،
وبذلك تصبح متجه سعة الموجه (١) في الجهة العليا اليمنى وحدتين اثنتين (2) مثل
الموجه الاصلية بالضبط نستنتج من كل ذلك حقيقة هامـــة وهي : تمتلك الموجتان
نفس الطور اذا كان فرق الطور بينهما صفرا أو أي عدد كامل من طول الموجه ($n\lambda$)
حيث ان : $n = 1,2,3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

وان λ تمثل طول الموجه

الفروق في مسارات حزم الاشعة الساقطة تظهر بصورة طبيعية عندما تحاد هذة
الحزم بواسطة البلورة كما في الشكل (4-3) يبين مقطعا من بلورة ، حيث الذرات
مرتبة من مستويات متوازية مثل D,C,B,A الخ
وهذة الذرات تكون على بعد (d) من بعضها وهي المسافة العمودية بين المستويات ،
وكما ذكرنا سابقا تدعى (d) بالمسافة البينية (interatomic distance)

لنفرض ان حزمة الأشعة السينية (متوازية واحادية الموجه) ذات طول طول موجي (λ)
سقطت على بلورة بزاوية مقدراها θ (زاوية براك) ، كما هو واضح في الشكل ،و θ
تقاس بين الحزمة المسلطة أو أحدى المستويات الذرية ، والان نرغب في معرفة فيما
اذا كانت الموجه المسلطة ستحاد من البلورة وتحت أية شروط .

ويمكن تعريف الحزمة المحادة (Diffracted beam) بأنها تتكون من عدد
كبيرمن الموجات المستطارة والتي لها خاصية تقوية بعضها لبعض . لذلك يعتبر الحيود
ظاهرة أستطارة حيث تستطير الاشعة الساقطة أوالمسلطة من الذرات وفي كل الاتجاهات.
في أتجاه معين تكون جميع الموجات المستطيرة في طور واحد ، لذلك تقوى
هذه الموجات بعضها البعض ، حيث تنتج الحزمة المحاده .

وعند توفر الشروط اللازمة في الشكل (3-4) ، تكون الحزم المحادة فقط
تنعكس بزاوية مقدراها (θ) والتي تساوي أوهي عينها زاوية السقوط .

يمكننا برَهنة ذلك بسهولة ، لمستوى واحد اولا ، ومن ثم لجميع المستويات الذرية التي
تكون البلورة . لنعتبر الاشعة 1 ، 1a في الحزمة الساقطة أوالمسلطة على البلورة
هذان الشعاعان يصطدمان بالذرتين k ، P في المستوى الاول للذرات حيث تستطير
الأشعتان وفي جميع الاتجاهات ونستطيع ان نرى أن الأستطارة في الأتجاهين 1́ و Ía
مساوية لبعضهما (في نفس الطور) ، ويحدث ذلك ، لان فرق المسار لهاتين الاشعتين
بين جبهتي الموجه XX́ و YÝ هو :

$$QK - PR = PK\cos\theta - PK\cos\theta = 0 \qquad (1\text{-}4)$$

وبنفس الطريقة تكون بقية الاشعاعات المستطيرة من الذرات كافة في المستوى الاول
وفي أتجاه موازي للاتجاه 1́ وفي طور واحد ، لذلك تضاف الأشعة المستطارة
من الذرات الى الحزمة المحادة ، لجميع المستويات الأخرى منفردة يبقى الان ان نرى
ماهو الشرط الذي بموجبه تكون الاشعاعات المستطيرة (Scattered)
من الذرات في مستويات مختلفة مقوية لبعضها البعض (Reinforcement)
الاشعة (١) و(2) قد أستطارتا وعلى سبيل المثال من الذرتين K و L على التوالي ،
فرق المسار للشعاعين 1kĺ و 212́ هو :

$$ML + LN = d' \sin\theta + d' \sin\theta$$

وهذا الفرق في المسار هو أيضا نفسه للأشعة المستطيرة من L,S K,P, وفي الاتجاهات المبينة .

الشعاعان المستطيران $1'$ و $2'$ سوف تكونان في نفس الطور بشكل عام على شرط على شرط ان يكون فرق المسار بينهما يساوي طول موجه واحدة ، أو عدداً كاملاً ($n\lambda$) من اطوال الموجه ، بعبارة اخرى عندما يكون :

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad ....(2-4)$$

تم اشتقاق المعادلة (2-4) من قبل العالم براك (Bragg) وقد سميت بأسمه.

والمعادلة أعلاه تعتبر شرطاً من شروط حدوث الحيود وتمثل « n » مرتبة الحيود ($n = 1,2,3,4,..$) وهذا يعني أنه لطول موجه معينة ولقيمة معينة من (d) هنالك قيم متعددة لزوايا السقوط θ_1 , θ_2 , θ_3 تحقق الحيود ، كل قيمة من هذة الزوايا تقابل قيمة من (n) . لتوضيح ماتقدم بشكل اكثر ، نعود الى الشكل (1-4) مرة ثانية ، عندما تكون قيمة ($n = 1$) ، الحيود الذي يحدث يكون من المرتبة الاولى (first ordar) ، وتكون قيمة الاختلاف بين طول المسار للشعاعين $1'$ و $2'$ مساويا لطول موجه واحدة (λ) ونرى الشعاعين $1'$ و $3'$ مساويا لطول موجتين وبين 1 و 4 مساويا لثلاثة أطوال .... وهكذا .

بهذه الطريقة نستطيع الحصول على نمط حيود الاشعة السينيه من اية بلورة

3-4 قانون براك : The Bragg law

هناك حقيقتان هندسيتان يجب تذكرهما بشكل عام دائما وهما :

١ – الاشعة الساقطة والعمود المقام على المستويات الذرية والحزمة المحاده تقع جميعها في مستوى واحد (في الحقيقة هناك عدة نقاط تتشابه بها حيود الأشعة السينية وانعكاس الضوء من مرآة ، ولكن هناك عدة نقاط أختلاف جوهرية أيضا ، لامجال للغور فيها في هذا الحيز)

٢ – الزاوية بين الحزمة المحادة (diffracted beams) والحزمة النافدة (غير المحادة) تساوي ، 2θ ، دائما ، وتدعى بزاوية الحيود.

تقاس زاوية الحيود (2θ) عادة من النتائج العملية وليس بشكل مباشر نكرر هنا ماذكرناه سابقا وهو : عند حدوث ظاهرة الحيود يجب ان تكون المسافات الدورية متقارنة مع طول الموجة (in the Same order ofmagnitude)

لحسن الحظ ، ان المسافات البينية للمستويات الذرية d وفي البناء البلوري لمعظم المعادن متقارنة من حيث الكمية مع طول موجة الاشعة السينية ، وهذا الشرط واضح في قانون براك ، لان قيمة $(\mathrm{Sin}\,2\theta)$ لايمكن ان تزيد على الواحد أي ان :

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin\theta \leq 1$$

لذلك فأن قيمة $n\lambda$ يجب ان تكون $\lambda < 2d$ ، في حالة الحيود ، تكون قيمة « n » تساوي واحدا على الاقل (حيث ان $n = 0$ تقابل الحزمة غير المحادة) .

وعليه فأن شرط الحيود لاية زاوية مرئية هو ان تكون $2d$ • اما قيمة d وفي كثير من البلورات هي في حدود $3A^{\circ}$ أو أقل (هناك استثناءات في البلورات العضوية) ، وعليه فأن قيمة λ تكون دائما أقل من $6\ A^{\circ}$. وعلى هذا فليس بالامكان حدوث حيود من بلورة باستخدام الاشعة فوق البنفسجية $(\lambda = 500A)^{\circ}$ والسبب هو أن نمط الحيود يكون غير مرئي على الأطلاق .

يمكننا أعادة كتابة قانون براك ليكون على الشكل التالي :

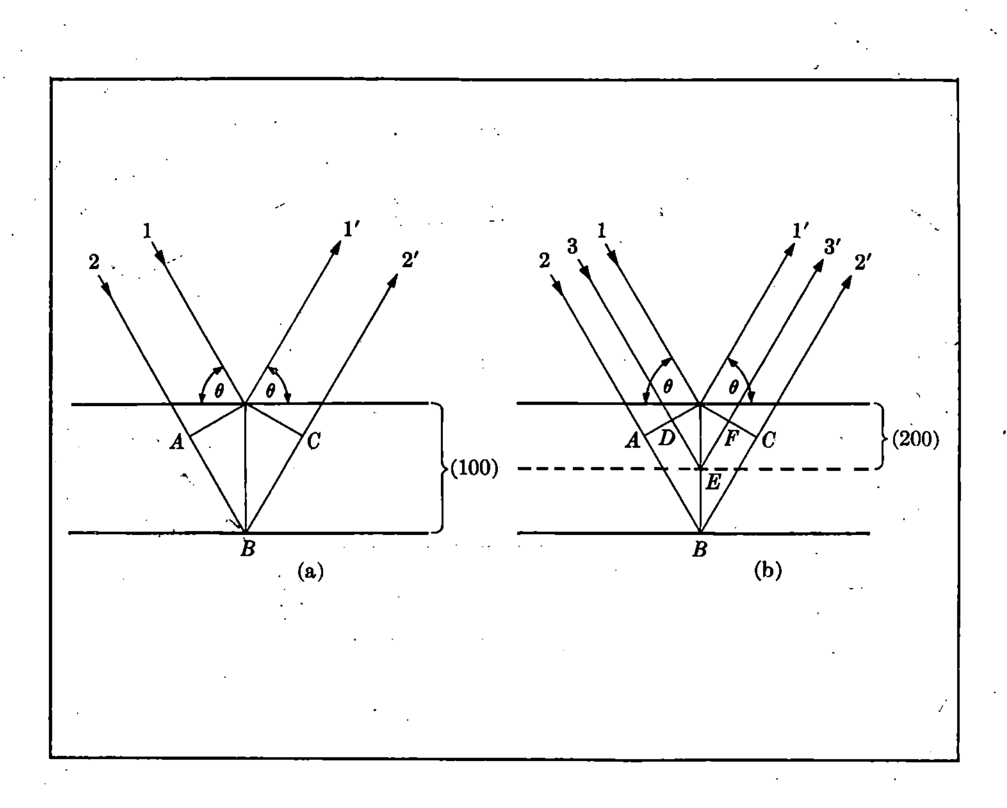
$$\lambda = \frac{2d}{n} \sin\theta$$

وبما ان قيمة n $(n = 1,2,3,\ldots\ldots.)$ تشير الى درجة الحيود ، وحيث ان دلائل ميلر (hkl) تشير الى درجة الحيود أيضا وكما ذكرنا ذلك في الفصول السابقة . لذا يمكننا القول ان $2\,d_{hkl}\,\sin\theta = \lambda$

وحيث تكون المسافات مختلفة عن بعضها بنسبة $\frac{1}{n}$ ، وبما ان ذلك معرف بدلائل ميلر ، عليه فلا حاجة تلزمنا وضع "n" في المعادلة اذا ماذكرنا (hkl)

ويمكننا توضيح ذلك بشكل دقيق في الشكل (3-4)

الجزء الاول في الشكل (a 3-4) يبين الحيود من المرتبة الثانية



شكل (3-4)

بعبارة أخرى حدث الحيود من . (Second order diffraction)
المستويات (100)

وبما ان الحيود من المرتبة الثانية يعني ان المسار(ABC) بين شعاعين مستطارين وفي مستويين متجاورين (100) هو ضعف طول الموجة (2)

اذا لم تكن هناك مستويات تبين المستويات (100) فيكون فرق المسار بين الشعاعين المستطارين مساو لطول موجة واحدة لذلك تسمى بالحيود من الدرجة الاولى.

أما بالنسبة الى المستويات (300) و (400).... ، فأن درجة الحيودتكون مكافئة للمرتبة الاولى والثانية والثالثة للحيود وهنا نؤكد بأن للمستويات (hkl) مستويات موازية أخرى ، ولكن المسافة بينهما تختلف بنسبة $\frac{1}{n}$

4-4 اتجاهات الحيود : Diffraction direction

كيف تتعين اتجاهات الحيود الممكنة ، بعبارة أخرى ، الزوايا الممكنةوالتي تحاد بها حزمة من الأشعة السينية الأحادية الموجه والساقطة على بلورة ما .

بالرجوع الى شكل (3-4) ، نرى ان من الممكن الحصول على زوايا الحيود 2Θ، من المستويات (100) وذلك بأستخدام الحزمة الساقطة في زوايا السقوط الصحيحة وبذلك نحصل على حيود الدرجة الاولى والدرجة الثانية والدرجة الثالثة كما يمكن الحصول على الحيود من مجموعة المستويات (110) ومجموعة (111) و (213) ... الخ.

يتبين مماتقدم ، أننا نحتاج الى علاقة عامة تتنبأ بزاوية الحيود لاى مجموعة (Set) من المستويات .

يمكننا الحصول على هذة العلاقة من :

١) قانون براك $\lambda = 2d \sin\Theta$

٢) علاقة المسافات البينية (من الملحق) . فمثلا اذا كانت البلورة ذات نظام مكعب ، فتكون علاقة المسافات البينية .

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+\ell^2}{a^2}$$

حيث ان (a) حرف المكعب .

وبربط المعادلتين أعلاه ، نستطيع الحصول على مايلي :

$$\sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4a^2}(h^2+k^2+\ell^2) \quad \text{------} \quad (3-4)$$

لنفرض اننا استخدمنا طول موجة محددة λ وبلورة معينة (مكعب) ذات وحدة

بناء وطول حرف (a) ، عند ذلك تصبح المعادلة 3-4 جيدة التنبوء بجميع (زوايا الحيود) المحتملة والتي بها يحدث الحيود من المستويات (hkl)

يمكن كتابة المعادله 3-4 لمجموعة المستويات (100) بالشكل التالي :

$$\sin \theta_{110} = \frac{\lambda^2}{2a^2}$$

ولو أفترضنا ان البلورة من النظام الرباعي وذات الأضلاع a,c عند ذلك يمكننا كتابة العلاقة العامة بالشكل التالي

$$\sin \theta = \frac{\lambda^2}{4}\left(\frac{h^2+K^2}{a^2} + \frac{\ell^2}{c^2}\right) \qquad ------ \quad (4-4)$$

وبنفس الطريقةيمكن الحصول على علاقة عامة لاي نظام بلوري آخر .

الامثلة السابقة توضح ان اتجاهات حيود الموجات ذات أطوال موجة معينة بواسطة مستويات ذرية معينة يمكن تعيينها بواسطة النظام البلوري للبلورة المعينة وثوابت البلورة (a, b, c)

بأختصار ، يمكننا تعيين اتجاهات الحيود بواسطة حجم وشكل وحدة البناء في البلورة .

هذة نقطة مهمة جدا من الناحية العملية وكذلك معكوسها :

أي أنه اذا تم تعيين اتجاهات الحيود عمليا ، يمكننا تعيين (قياس) حجم وشكل وحدة البناء البلوري (ثوابت البلورة) ، وهذه من أهم القياسات في تجارب الحيود بصورة عامة. ولابد لنا ان نذكر هنا ، هو أمكانية تعيين مواقع الذرات في وحدة البناء البلوري من خلال قيم شدة نقاط دوائر الحيود .

فهناك ترتيب معين للذرات في بعض البلورات بحيث تؤدي الى تقليل شدة نقاط الحيود أو قد تؤدي في بعض الاحيان الى أن تكون الشدة صفرا .

وهذا يعني عدم وجود حيود في ذلك الاتجاة اطلاقا .

في هذة الحالة نستطيع القول ، عدم وجود حيود في ذلك الاتجاة والتي تنبأت بها العلاقات (2-4) ، (3-4) مثلاً ، لذلك ترانا قد أكدنا على كون هذة العلاقات تتنبأ باتجاهات الحيود المحتملة (Possible diffraction heams) وبشكل نسبي لكل حالة بناء بلوري .

5.4 طرق الحيود : Diffraction Methods

يحدث الحيود عندما تتحقق معادلة براك $\lambda = 2d \sin\theta$ هذا الشرط يضع قيوداً قوية على كيفية الحصول على الحيود من بلورة ما باستعمال أشعة ذات طول موجه (λ) وزاوية سقوط (θ) ، لهذا نقول ان وضع بلورة في مسار الاشعة السينية بشكل عشوائي لايؤدي الى حدوث حيود أو في الحقيقة عدم الحصول على نمط الحيرد .

لذلك يجب ان نصمم بعض الطرق التي يمكن بواسطتها الحصول على نمط الجيود بسهولة في الظروف العملية .

بصورة عامة ، يجب ان تكون هذة الطرق اأو التصميمات مبنية على أساس تغير (λ) بشكل مستمر أثناء التجربة ، أو تغير (θ) باستمرار خلال تسجيل نمط الحيود .

يمكننا ذكر ثلاثة طرق رئيسة مبنية على أساس تغير λ و θ وهي :

		λ	θ
1	– طريقة لاوي	متغيرة	ثابتة
2	– طريقة تدوير البلورة	ثابتة	متغيرة جزئيا
3	– طريقة المسحوق	ثابتة	متغيرة

1-5-4 طريقة لاوى :

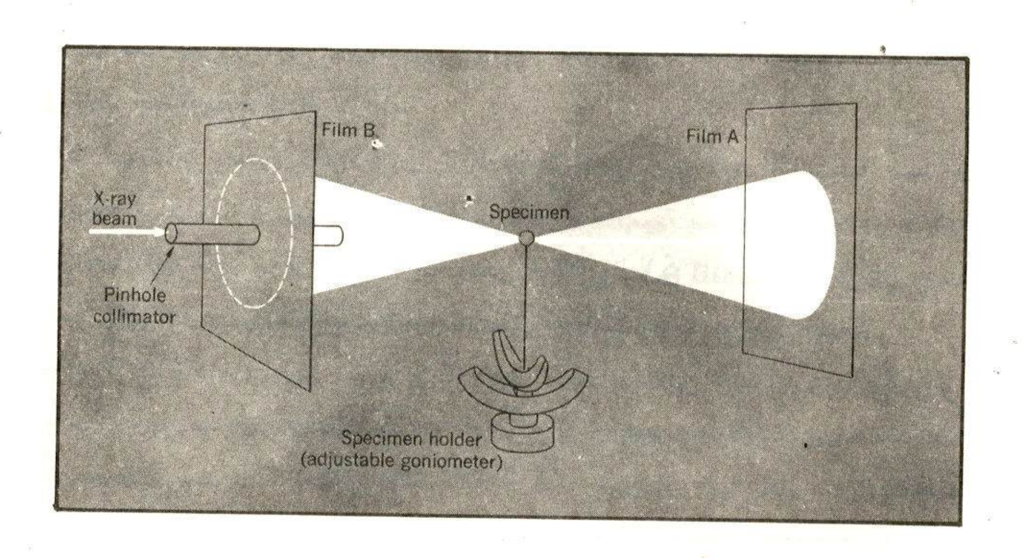
تعتبر الطريقة هي الاولى التي استعملت في الحصول على الحيود ، وفيها تثبت البلورة في مسار الاشعة السينية أو حزمة النيوترونات الساقطة (طيف من طول الموجات) بذلك سوف تختار البلورة طول الموجة الملائمة لكل مجموعة من المستويات الذرية ذات المسافات البينية (d) للاشعة الساقطة بزاوية (θ) بحيث تتحقق معادلة براك ($\lambda = 2d\sin\theta$) تعتبر طريقة لاوى هذة من الطرق السريعة والسهلة لتعيين وضع البلورة (Orientation) وكذلك عناصر تناظرها .

وغالبا ماتستخدم هذه الطريقة في المختبرات ، حيث يستعملها مهندسو المواد بشكل واسع . لانها مثالية وسريعة للكشف عن درجة البلورة **(Order of cerystalinity)** كما يمكن قياس مقدار العيوب الموجود في البناء البلوري بواسطتها وخصوصا بعد المعاملات الحرارية **(Heat treatment)** والميكانيكيه .

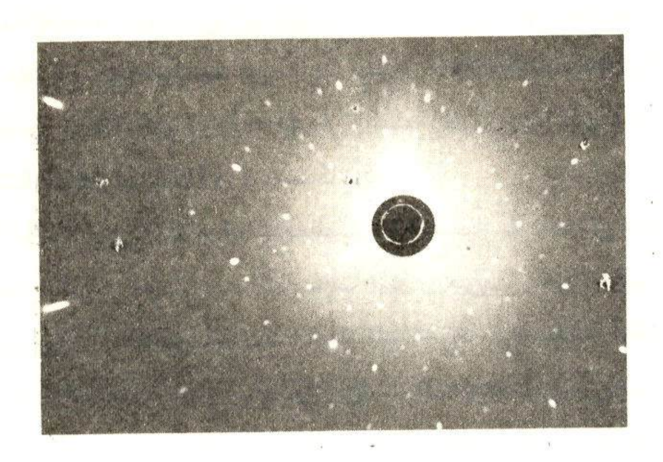
والشكل **(4-4)** يبين كامرة للاشعة السينية تخطيطياً ، يستعمل مصدرا للاشعة السينية في هذة الكامرة بحيث يولد أشعة ذات طيف معين من أطوال الموجات (بعبارة اخرى ، تحوي حزمه من الاشعة السينية ، عدة أطوال موجات وبشدة مختلفة).

عادة تكون اطوال الموجات واقعة بين **2. - 0.2A°** حيث يمكن تجميع الاشعة من المصدر على سطح النموذج بواسطة امرار الاشعة خلال فتحه صغيرة مثبتة في مسار الاشعة **(Pinhol arrengment)** وجدير بالذكر ان حجم البلورة التي تفحص بهذه الطريقة يكون عادة في حدود **1mm** أو أكثر .

بعد ان تحترق الاشعة البلورة المثبتة في مسارها تصطدم بلوح فوتغرافي كما هو مبين في الشكل ، حيث يتم تسجيل نمط حيود النموذج أو البلورة ، وكمثال على ذلـــك . نمط الحيود في الشكل (4-5) .



شكل (4-4)



شكل (5-4)

يبين الشكل أعلاه (5-4) ، نمط حيود لاوى من بلورة السيليكون وفي وضع (100) لاحظ ان هذا النمط من ناحية الوضع اذا مادور بزاوية $\frac{2}{4}\pi$ وهذا طبعا ناتج عن ان بلورة السيليكون [100] رباعية التناظر حول هذا المحور .

هناك عدة حقائق يمكن ان نستنتج من نمط الحيود في الشكل (5-4) بالاضافة الى وضع البلورة ونظام التناظر .

هذا النمط من الحيود يتكون من سلسلة من نقاط الحيود والتي تعود لكـــــل منها الى مجموعة مستويات ذرية في البلورة . كل مستوى أو مجموعة مستويات تختار من الأشعه الساقطة (كما ذكرنا سابقا) طول موجة تحقق معادلة براك ($n\lambda = 2d\sin\theta$) حيث تعبر (n) هنا عن مرتبة الحيود وبأعداد كاملة وتكبر كلما ابتعدنا عن مركز النمط .

لابد لنا ان نذكر مرة أخرى ، بأن طريقة لاوى لاتستعمل لتعيين البناء الباوري المضبوط والسبب وجود موجات مختلفة قد تؤدي الى ان تتراكب مواقع حيود لاطوال موجات مختلفة من مجاميع مستويات مختلفة(Over lap)هذا يؤدي الى ضياع كثير من المعلومات وذلك لصعوبة استخدامها .

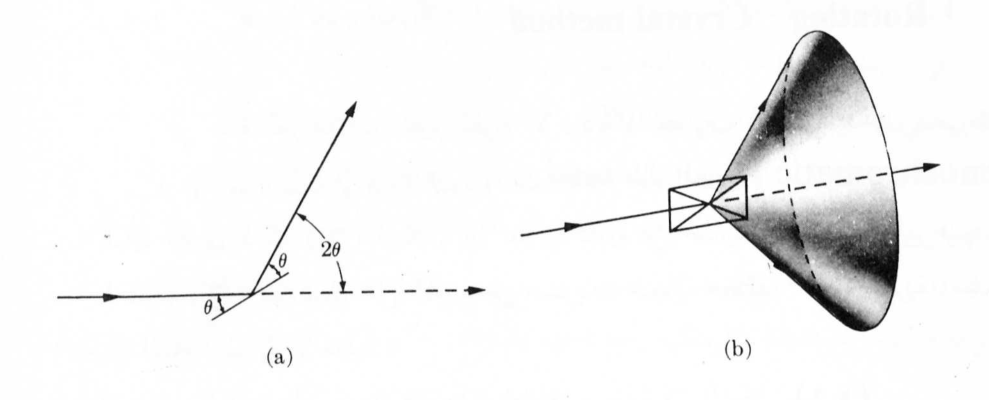
2-5-4 طريقة تدوير البلورة : Rotating Crystal method

في هذة الطريقة يتم تدوير البلورة الاحادية (المطلوب دراستها) حول محور ثابت في مسار الاشعة السينية او حزمة النيوترونات أحادية طول الموجة (monochromatic) بعبارة اخرى ذات (λ) ثابتة ، ان تدوير البلورة في مسار الاشعة يعني تغيير قيم زاوية السقوط (θ) للحصول على الحيود من مستويات متوازية مختلفة . هذة الطريقة تستخدم لتعيين البناء البلورية الاحادية .

الجهاز او الكامرة المستعملة في هذة الطريقة . مبينة في الشكل (5-2)

فأذا ماتم تدوير هذا المستوى حول الأشعة الساقطه كمحور ، بحيث تبقـــى (θ) ثابتة ، عند ذلك سوف تسلك الحزمة أو الاشعة المحادة مسار سطح مخروطي كما في الشكل (6-4)

كما هو موضح ، محور المخروط مطابق لمسار الاشعه المخترقه .



شكل (6-4)

في الحقيقة ، لايحدث هذا التدوير فعلا ، ولكن السبب هو وجود عدد كبير جدا من الجسيمات البلورية تمتلك جميع الاوضاع الممكنة وتسبب ذلك نمط الحيود وهي بذلك تكافيء التدوير الذي تكلمنا عنه

بهذة الطريقة يكون مخروط لكل مجموعة مستويات متوازية **(hkl)** ، وبما ان المسافات البينية مختلفة بالنسبة للمستويات ، لذلك نحصل على مجموعة مخاريط متمركزة ولها محور مشترك ، ولكن لهازوايا رأسية مختلفة كما موضحة في الشكل **(7-4)**

يدعى هذا النمطمن الحيود ، بنمط دوبي – شيسر (Debye-scheser)

يوضع شريط فوتغرافي على شكل دائرة ومتمركزة داخل اسطوانة تحوي النموذج في مركزها ، تسلط الاشعة بشكل عمودي على هذا المحور ، كما مبين في الشكل . بعد تسجيل النمط (يعرض الشريط الفوتغرافي للاشعة) وبذلك نستطيع الحصول على نمط الحيود المبين في الشكل **(7-4)** الذي يتكون من خطوط حبود منحنية وليست على شكل نقاط حيود ، كما هو الحال في نمط الحيود البلو رة الاحادية .

في الحقيقة ، هذة المنحنيات عبارة عن نقاط حيود قريبة من بعضها ، بحيث يصعب تمييزها ، كل نقطة ناتجة من الحيود عن جسم بلوري معين ، وحيث ان المجسمات

قريبة من بعضها جدا ، وتمتلك موضع اختيارية بالنسبة لبعضها ، لذلك تظهـــر هذة المنحنيات .

بقياس موضع كل خط ومعرفة طول الموجة λ يمكننا حساب قيمة « θ » لكل واحدة ، عند ذلك نستطيع حساب قيمة المسافات البينية "d" ومن ثم ثوابت البلورة الاخرى. وبالعكس ، اذا كان شكل وحجم وحدة البناء في البلورة معروفا ، عند ذلك نستطيع التنبؤ بوضع خطوط الحيود على الشريط

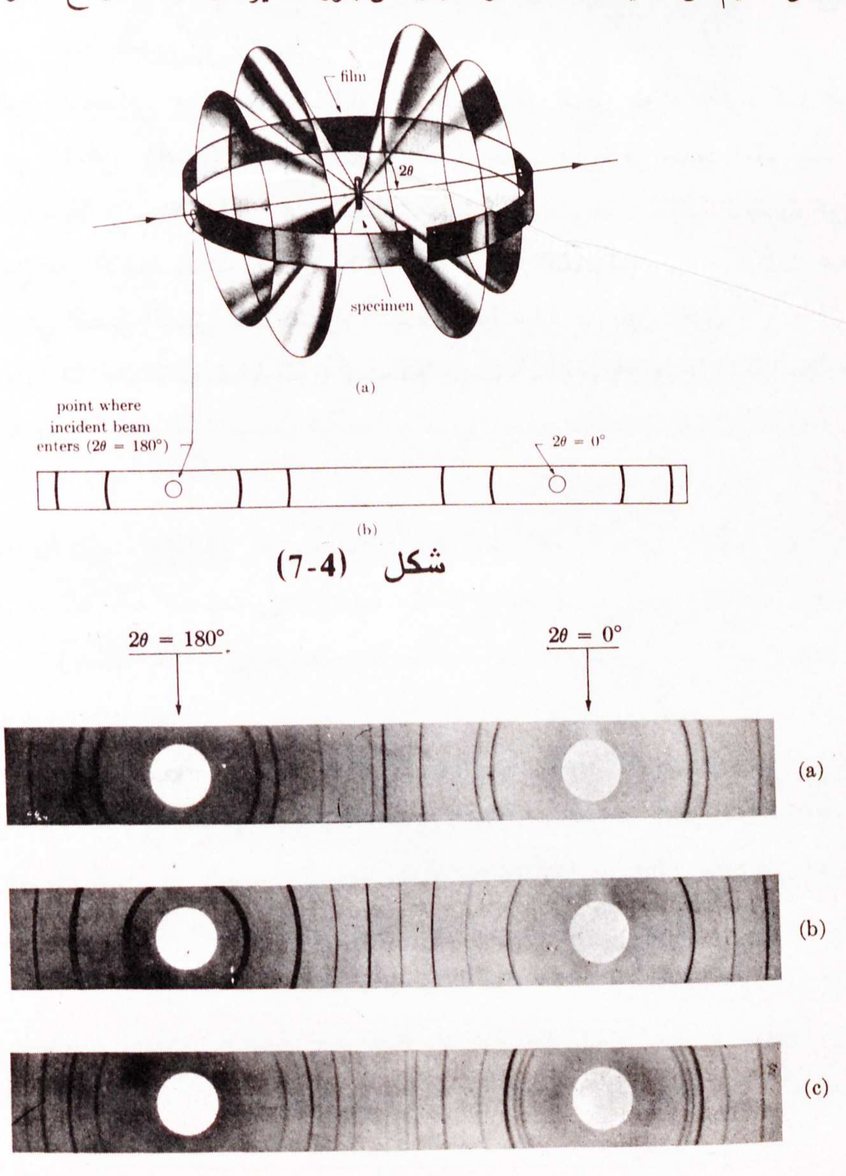
يوضع اللوح الفوتغرافي في ماسك أسطواني ، متمركز على محور دوران البلورة كما هو واضح في الشكل (6-4) في هذة الطريقة يكون حجم البلورة في حدود ١ملم ايضا. لقد ذكرنا سابقا ، ان الاشعة في هذه الحالة تكون احادية الموجة . يمكننا الحصول على هذا النوع من الاشعة وذلك بأمرارها خلال مصفاة (filter) والذى تكلمنا عنه بأسهاب في الفصل السابق غالبا ماتكون المصفاة هذة عبارة عن بلورة أخرى .

هناك تحويرات عديدة لهذة الطريقة ، تستخدم حسب الحاجة ووفق درجة الدقة المطلوبة في التجربة .

طريقة المسحوق : **Powder Method**

في هذة الطريقة ، تسحق البلورة بشكل جيد الى ان نحصل على المسحوق ذات الجسيمات الصغيرة جدا **(Powder)** يوضع جزء من هذا المسحوق في مسار الاشعة السينية ذات الموجة الاحادية .

وكل جسيم من جسيمات المسحوق عبارة عن بلورة صغيرة جدا ذات وضع عشوائي بالنسبة



شكل (4-7)

شكل (4-8)

للاشعة الساقطة . بما ان هناك عدداً كبيرا من هذة الجسيمات في مسار الاشعة ، فيكون هناك احتمال كبيرمن توافق وضع احدى الجسيمات أو عدد منها مع زاوية سقوط الأشعة عليها بحيث يتحقق قانون براك وبذلك تحدث ظاهرة الحيود.

وعلى سبيل المثال اذا كان وضع المستويات (100) في عدد من هذة الجسيمات البلورية يسمح لتحقيق معادلة براك فعند ذلك تحدث ظاهرة الحيود ، كما قد تكون مجموعة اخرى من المستويات (110) بوضع يسمح بتحقيق معادلة براك ايضاً فيحدث الحيود وهكذا بالنسبة الى المجاميع الاخرى . بعبارة اخرى سوف نحصل على نمط حيود من مجاميع في أوضاع ولكن تسمح بتحقيق قانون براك.يمكننا القول ، ان نمط الحيود الذى يتم الحصول عليه بهذة الطريقه يكون مطابقا للخط الذي نحصل عليه من بلورة احادية تدور حول جميع المحاور الممكنة وليس حول محور واحد .

الشكل (4-7) يبين مستوى إحدى المجموعات في الوضع الصحيح الحيود . الفوتغرافي سيقا . يعود خط الحيود ذو الزاوية الصغيرة (2θ) الى مستويات متوازيـة ذات اكبر مسافة بينية (d) وقس على ذلك .

في النظام البلوري المكعب قيمة "d" على سبيل المثال ، تكون لها أكبر قيمة عندما تكون قيمة $(h^2+k^2+l^2)$ اصغر مايمكن . بالطبع القيمة الدنيا لمجموع مربعات الدلائل تساوي واحداً .

عند ذلك يكون (hkl) هو (100)، ولهذا نقول ان بقعة الحيود أو خطوط الحيود تقابل أصغر زاوية ، أقرب مايكون الى مركز الحيود (كلما ابتعدنا عن المركز تكبر الزاوية 2θ وتقل "d" .

والخط التالي يكون (110) مثلاً ، أي ان قيمة $(h^2+k^2+l^2)$ تساوي 2 وهكذا

تستعمل طريقة المسحوق (Powder method) هذه بشكل واسع في حقل فحص المعادن (metallurg) وتستخدم ايضا عند عدم امكانية الحصول على بلورة احادية كبيرة نسبيا (بحجم 1mm مثلا) من بعض المواد .

ان هذة الطريقة مفيدة جدا في حالات تعيين ثوابت البلورة ، أو في حالات دراسة وتعين الاطوار في المواد (Phases) . سواء عند تواجد هذة الاطوار منفردة أو كخليط مثل السبائك ونتاج التأكل وغير ذلك .

اسئلة

سؤال (١) : جد قيمة 2θ ، (hkl) لخطوط الحيود الثلاثـــة الاولى (ذات الزوايا الصغيرة) في نمط الحيود المسحوق للمواد التي لها الانظمة البلورية التالية .

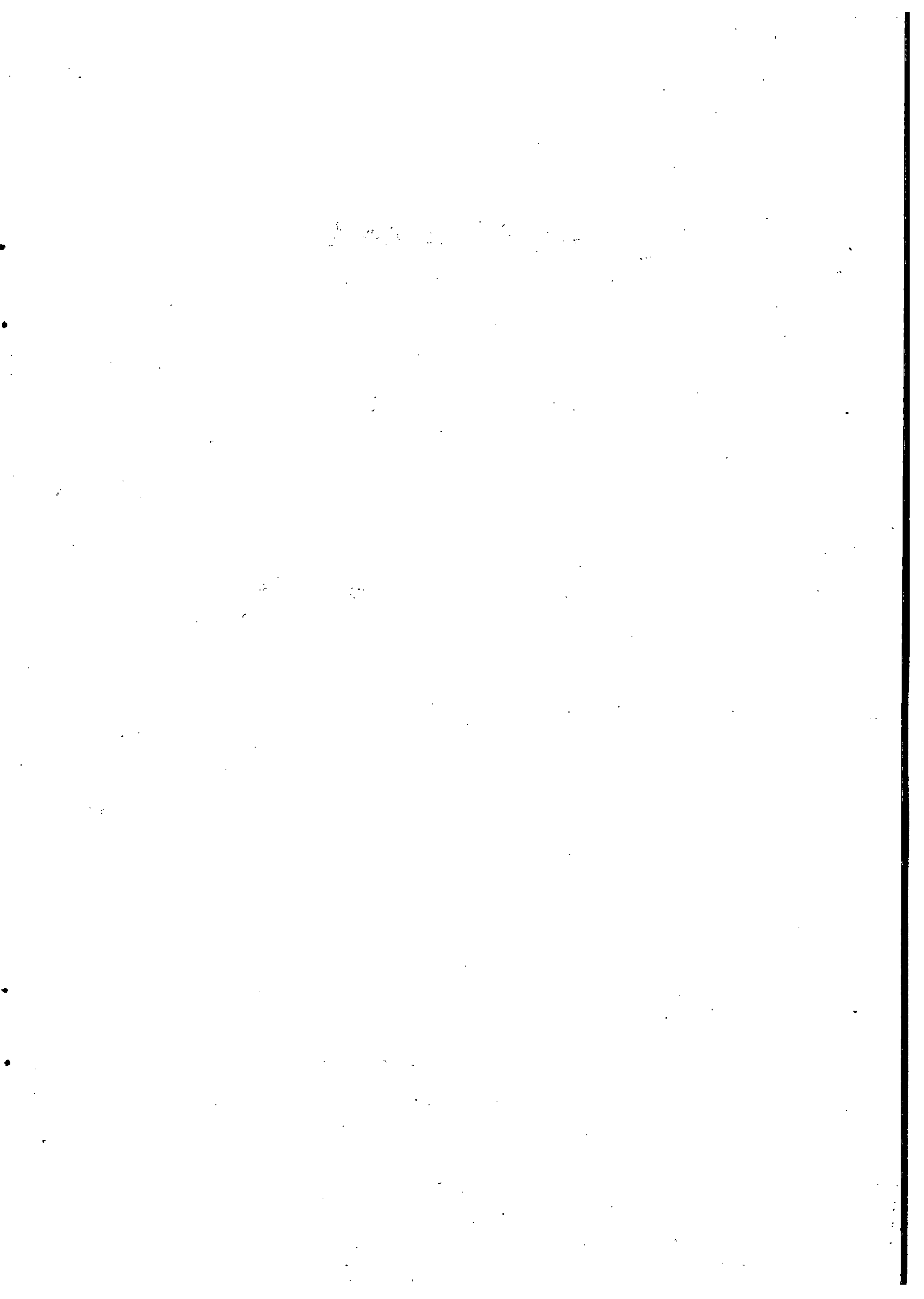
أ – مكعب بسيط $(a = 3.A^\circ)$

ب – نظام رباعي بسيط $(a=3A^\circ , c = 2A^\circ)$

علما بأن الاشعة المسلطة هي $cuk\alpha$

سؤال (٢) : سلطت حزمة من الاشعة السينية بصورة أفقية وموازية للمحور (010) وعمودية على المحور (100) البلورة من نظام مكعب ، حرف وحدة البنار فيها $(9A^\circ)$ إذا علمت أن المحور (001) يكون موازياً للشريط الفوتغرافي الذي يبعد عن البلورة (٥سم) ، حدد مواقع بقع الحيود على الشريط .

الفصل الخامس



1.5 شدة الحزم الحادة. The intensitities of diffraction - beams

مقدمة : —

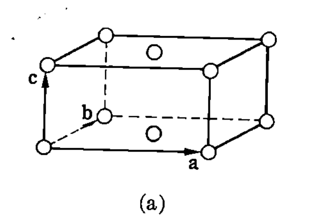
لقد ذكرنا في عدة مناسبات سابقة ، بأن موقع الذرات (Atom posititions) لايؤثر في اتجاهات حزم الاشعة المحاده وأنما يؤثر كبير في شدة الحزم هذه .

وبعبارة اخرى ، الاتجاهات مرتبطة بشكل وحجم البناء والشدة بترتيب الذرات داخل وحدة البناء .

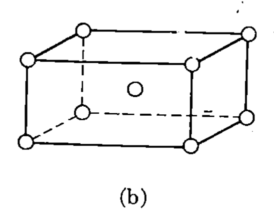
وللتأكد من ذلك يمكن النظر في الشكل (1-5) . والبنائين b,a هما من النظام المعينين .

(a) تدعى متمركز القاعدة (Base centered) و (b) متمركزة الجسم (body centered) ، وكل وحدة تحوي على ذرتين من نفس النوع . ولو دققت النظر في الشكلين لاستنتجت أمكانية استنباط الواحد من الأخر وذلك بأزاحة ذرة واحدة بمتجه مقدارة $\frac{1}{3}c$

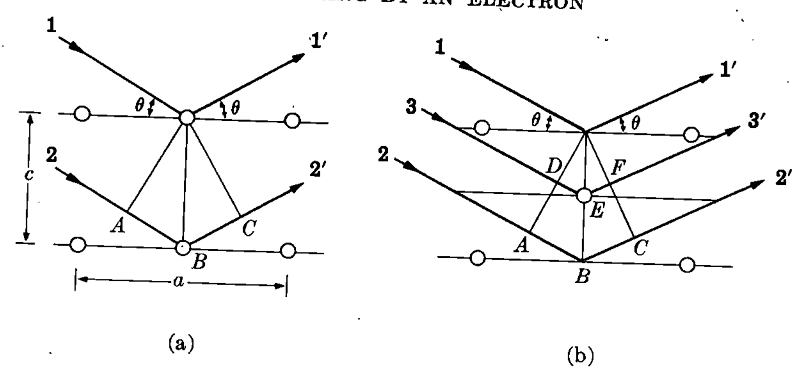
ولو فرضنا الأنعكاسات من المستويات المتوازية (100) كما في الشكل (1-5 a) والخاص بوحدة البناء متمركز القاعدة ولنفرض ان قانون براك Bragg يتحقق لقيم λ و θ المستعملة في هذة التجربة ، وهذا يعني ان فرق المسار ABC بين الشعاعين $1'$ و $2'$ هو طول λ لموجة واحدة ، أي ان للحزمتين $1'$ و $2'$ نفس الطور وبذلك تحدث ظاهرة الحيود في الاتجاه المبين ، وكذلك بالنسبة لمتمركز الجسم (b) ، حيث ان الحزمتين $1'$ و $2'$ هما من نفس الطور لان الفرق المسار (ABC) يساوي طول موجة واحدة أيضا ، ولكن في هذة الحالة يوجد مستوى أخر من الذرات بين المستويات (100) (في منتصف المسافة البينية) ، وليس صعبا ان نستنتج ان فرق المسار بين $1'$ و $3'$ هو نصف المسار (ABC)، أي نصف طول الموجه ، لذلك فأن $3'$ و $1'$ تكونان في طورين متعاكسين تماما ، وهذا سبب تلاشيهما (annul each other). ويمكن التدرج بنفس الاسلوب بالنسبة للمستويات غير المرئية في الشكل . أي ان $4'$ تلاشي $2'$ وهكذا .



(a)



(b)



(a) (b)

شكل (1-5)

وهذا يعني لاوجود لبقع الحيود او خط الحيود (100) في نظام متمركز الجسم .

كل ماتقدم يبرهن لنا ان ترتيب الذرات (موضعيا) في وحدة البناء يؤثر في شدة الحيود بل يسبب تلاشية كليا في بعض الحالات .

ان التغير في وضع الذرات داخل وحدات البناء البلوري يودي الى تغيير في شدة الحيود ، وليس من الضروري ان يؤدي الى ان تكون فيه الشده صفرا ، والحقيقة التي نستنتجها هو اننا نعين مواقع الذرات في وحدات البناء البلوري من شدة الحيود ، سواء حيود الاشعة السينية او الاشعاعات والجسيمات الاخرى .

هدفنا في هذا الفصل هو أيجاد علاقة رياضية بين شدة الحيود ومواقع الذرات داخل وحدة البناء ويجب ان نشير هنا الى ان ايجاد او أشتقاق مثل هذه العلاقة ليس بالامر السهل ، حيث تتداخل عدة عوامل ، لذلك يجب ان نتدرج نحو هذا الهدف استطارة الاشعة السينية من الكترون منفرد في باديء الامر ، ثم من الذرة المنفردة وبعد ذلك من جميع الذرات في وحدة البناء البلوري ثم نطبق مانصل اليــه عــلى بعض المسائل العملية .

2.5 أستطارة الأشعه السينيه من الالكترون :- Scattering by a electron

ذكرنا سابقا ان الاشعة السينية هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسيه تتميز بأن مركبة المجال الكهربائي (كمية اتجاهية) تتغير بشكل لولبي (Sinusoidally) مع الزمن ، وبما ان المجال الكهربائي يسلط قوة على اي جسم مشحون (مثل الالكترون) فالمجال الكهربائي المتذبذب للاشعة السينية يولد هذة القوة على الالكترون عند سقوطه وتكون هذة القوة ذات طابع متذبذب ايضا تؤدي الى تذبذب او أهتزاز الالكترون حول موقعة ، ومن المعروف ان الشحنات الكهربائية المعجلة او المبطئة تبعث أشعة كهرومغناطيسي تحت تأثير الاشعة السينية الساقطة عليه . وهذه العملية هي التي ندعوها بأستطارة الاشعة السينية من الالكترون حيث ان الاشعة المستطيرة هي الاشعة المنبعثة من الالكترون بتأثير الاشعة السينيه ، الاشعة المنبعثة من الالكترون لها نفس طول موجة وتردد الاشعة الساقطة ، لذلك يقال ان الاشعة المنبعثة والساقطة تكون متشاكهه (coherent) حيث ان هناك علاقة طوروثيقة بين الاشعتين (الساقطة والمنبعثة).

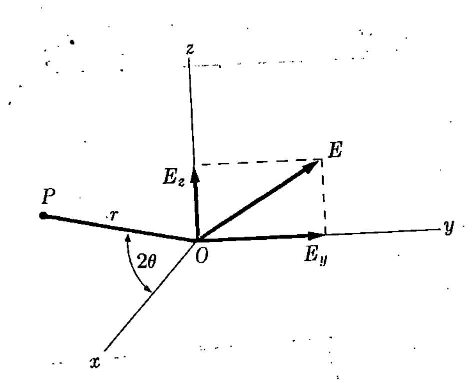
تنبعث الاشعة المستطيرة من الالكترون في جميع الاتجاهات ولكن شدة الاشعة تعتمد على زاوية الاستطارة كما بينها شومسون (J,J Thompson) (مكتشف الالكترون

، لقد تمكن ثومسون من صياغة معادلة رياضية مفادها ان الاشعة السينية المستطيرة من الالكترون ذات الشحنة e والكتلة m على مسافة r من الالكترون هي : —

$$I = I_0 \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \sin^2\alpha \qquad ....(1\text{-}5)$$

حيث I_0 هي شدة الاشعة الساقطة و c هي سرعة الضوء و α هـــي الزاوية بين الاشعة المستطيرة وأتجاه تعجيل الالكترون .

ولاجل الحصول على معادلة تامة لاستطارة الاشعة السينية من الالكترون متضمنة تأثير الاستقطاب ، نفرض ان الاشعة الساقطة تسيربالاتجاة (ox) كما في الشكل (2-5) حيث تصطدم وتري الكترونا في نقطة الاصل (O) والذي نرغب فيه هوان نحسب شدة الاشعة المستطيرة في نقطة P واقعة في المستوي (xz) حيث ان op يعمل زاوية قدرها 2θ مع الاشعة الساقطة كما هومبين في الشكل .



شكل (2-5)

يكون اتجاه المركبة الكهربائية (E) للاشعة السينية غير المستقطبة في المستوى (yz) ، ويمكن تحليل (E) الى مركبتين مستقطبتين هما Ey و E_z كما هو واضح في الشكل ، بحيث $E^2 = E_y^2 + E_z^2$

ويمكن ان نقول في المعدل ان

$E_z = E_y$ ، لان اتجاه E هو عشوائي تام ، أي ان

$$E_y^2 = E_z^2 = \frac{1}{2} E^2$$

وهذا يعني ان شدة هاتين المركبتين للاشعة الساقطة تتناسب طرديامع مربع متجه المجال الكهربائي لكل منهما لان (E) تمثل سعة الموجة (Amplitude) وهذا ليس بالشيئ الجديد ، وان – الشدة تتناسب مع مربع السعة في كل الاحوال ، وبذلك تكون

$$I_{oy} = I_{oz} = \frac{1}{2} I_o$$

يتعجل الالكترون بالاتجاه (yo) نتيجة لتأثير مركبة الاشعة الساقطة باتجاة الاحداثي (y) ، وهذا يؤدي الى ان تكون شدة الاشعة المستطيره في (P) هي : –

$$I_{py} = I_{oy} \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4}$$

وبما ان الزاوية $\alpha = \angle yop = \pi/2$. فتكون شدة الاشعة المستطيرة باتجاة z كما يلي : –

$$I_{pz} = I_{oz} \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \cos^2 2\theta$$

حيث $\alpha = \frac{\pi}{2} - 2\theta$

الشدة الكلية للاشعة المستطيرة في (P) تساوي مجموع شدتي المركبتين

$$I_p = I_{py} + I_{pz}$$

$$I_p = \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \left(I_{oy} + I_{oz} \cos^2 2\theta \right)$$

$$I_p = I_0 \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \left(\frac{1 + \cos 2\theta}{2} \right) \qquad (2-5)$$

وهذه هي معادلة ثوميسون لاستطارة الاشعة السينيه من الالكترون المنفرد ، واذا ماعوضنا قيم الثوابت

e , r , m , c

في المعادلة (5 - 2) فأننا سنستنتج ان شدة الاشعة المستطيرة من الالكترون هي كمية ضئيلة نسبةلشدة الاشعة الساقطة ، والمعادلة (5 - 2) نحصل عــــلى الحقائق الأتية :

(1) ان شدة الاشعة المستطيرة تقل مع معكوس مربع المسافة من الالكترون كمــا هو متوقع .

(2) ان شدة الاشعة المستطيرة هي أكبر في اتجاة مسار الاشعة او عكسه تماما (أي للزوايا (Θ و π) مما هي للاتجاة العمودي ($\frac{\pi}{2}$) على مسار الاشعة الساقطة .

كما تعطي المعادلة (2-5) القيم المطلقةلشدة الاشعة المستطيرة بوحدات $ergs / cm^2 / sec$ وبدلالة الفيم المطلقة لشدة الاشعة الساقطة ، تكون القيم المطلقة صعبة الحساب عادة ، وكذلك صعبة القياس ولكن لحسن الحظ ان القيم النسبية (Relative values) تفي بالغرض في تجارب الحيود .

وتكون جميع قيم العوامل ثابتة تقريبا في المعادلة (2-5) عدا الحد الاخير

$\frac{1}{2}(1 + \cos^2 2\theta)$ ويدعى هذا الحد بعامل الاستقطاب (Polarization factor)

وان وجوده يجعل حساباتنا للشدة صعبة بعض الشي ولكنه يصاحب معادلات الاشعات غير المستقطبة ، ولابد من اعتباره عند احتساب الحزم المحيده في المستقبل . وهناك نوع آخر لاستطارة الاشعة السينيه في الالكترون يدعي بتأثيركومبتين (compten effect) نسبة الى العالم Compten ، وهذا التأثير لايخص موضوع الحيود وبشــــكـــل مباشــــر .

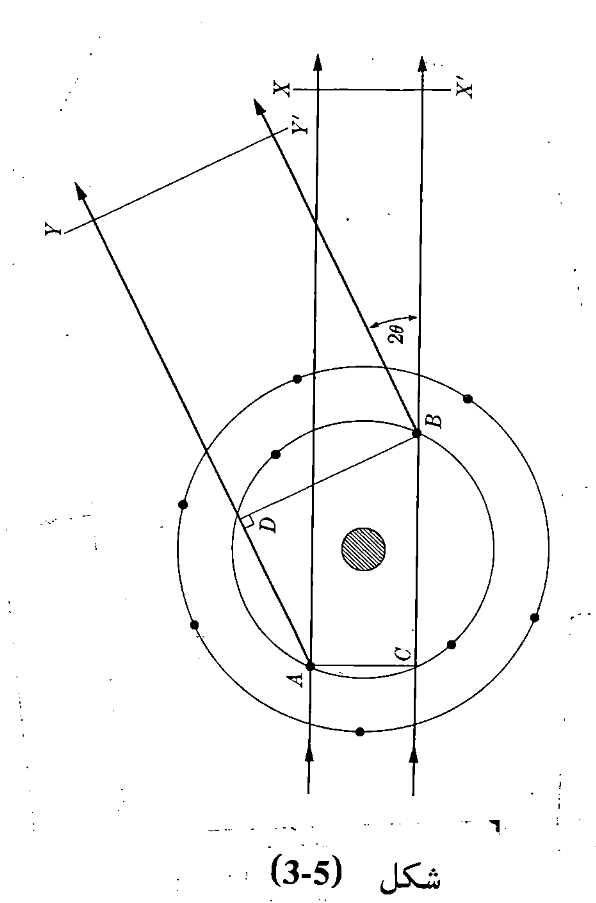
3.5 الاستطارة من ذرة منفردة :

عندما تلاقي الاشعة السينية ذرة ما ، فأن كل الكترون من الالكترونات في الذرة يسهم في استطارة الاشعة الساقطة بهيئة متشاكهة (Coherently) وفقا لمعادلة تومبس معادلةرقم (5-2) ، وكذلك نتوقع ان نواة الذرة تسهم ايضا في استطارة الاشعة الساقط لانها تحمل شحنة كهربائية ايضا ، ولكن كتلة النواة كبيرة جدا نسبة الى كتلة الالكترون ، لذلك يكون تذبذب النواة ضعيفا ويمكن اهماله ، وسنستنتج ذلك من المعادلة (5-2) حيث ان كثافة الاشعة المستطيرة تتناسب عكسيا مع مربع كتلة الجسم المسبب للاستطارة.

يمكن القول اذا ، بأن الكترونات الذرة تسهم في استطارة الاشعة السينية فقط وليس هناك اية مساهمة لنواة الذرة وبذلك يبرز السؤال المهم التالي : —

هل ان الاشعة المستطيرة من الذرة هي عبارة عن مجموع الاشعاعات المستطيرة من الكترونات الذرة ؟ وبعبارة اخرى ، اذا كان العدد الذري للذرة هو z (الذرة تحوي على z من الالكترونات) ، وهل تكون الاشعة المستطيرة من الذرة هي تلك المستطيرة من الكترون واحد مضروبة بالعدد الذري ؟

الجواب على هذا السؤال هو نعم ، فأذا كان اتجاه الاستطارة هو اتجاه الحزم الساقطة ($O = 2\Theta$)لان الاشعاعات المستطيرة من الالكترونات المختلفة تكون في نفس الطور (متشاكهة) ،ويمكن انتجمع جمعا جبريا بسيطا ، هذه الحقيقة ليست صحيحة بالنسبة للاستطارة بالاتجاهات الاخرى ، وان الالكترونات في الذرة بها مواقع مختلفة ، وهذا يؤدي الى وجودفرق في المسار بين الشعاعين المستطيريين من الالكترونين في موقعين مختلفين ، وهذا يؤدي الى فرق في الطور ، حيث تكون الشدة الكليه معتمدة على علاقة الطور بين الاشعاعات المستطيرة في الالكترونات ا، ونظرا لاهمية هذة الظاهرة، دعنا ننظر الى الشكل (5-3) حيث الالكترونات تمثل في هذا الشكل بنقاط حول حول النواة المركزية ، وان الاشعة المستطيرة من الالكترونين A وB تكون متشاكهة (في نفس الطور) على جبهة الموجة xx' وذلك لان كل موجة قطعت نفس المسافةقبل وبعد الاستطارة .



شكل (3-5)

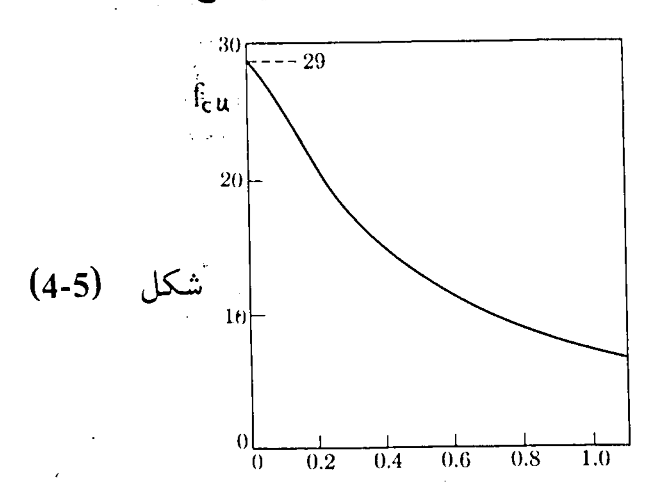
أما الحزم المستطيرة الاخرى المبينة في الشكل على كل حال بينهمافرق مسار يساوي (CB — AD) لذلك فهي غير متشاكـهة حيث انها ليست في نفس الطور على جبهة الموجة YY حيث ان فرق المسار اقل من موجة واحدة ، وبذلك يحدث تداخل جزئي بين الموجتين المستطيرتين من A و B مما يؤدي الى تقليل شدة الاشعة المستطيرة دون حدوث هذا التداخل .

والكمية التي تقيس عامل الاستطارة الذرية (The atomic scattering factor) (f) يقيس كفاءة إستطارة الاشعة الساقطة على ذرة في أتجاة معين ويعرف هذا العامل بأنه النسبة بين سعات الموجات المستطيرة من الذرة الى تلك المستطيرة من الكترون منفردة، اي ان

$$f = \frac{\text{سعة الموجة المستطيرة من الذرة}}{\text{سعة الموجة المستطيرة من الكترون منفرد}}$$

وهذا يعني ان $f = z$ عند الاستطارة بالابتجاه ($O = 2\Theta$) فكلما ازدادت (Θ) قلت قيمة العامل f ، حيث يزدادفرق الطور بين الموجات المستطيرة من الالكترون المختلفة في الذرة ويجب الا ننسى ان f تعتمد على طول موجة الاشعة الساقطة ، حيث تقل كلما قصرت طول الموجة ، حيث يكون فرق المسار اكبر بنسبة لطول الموجة وبذلك يزداد تأثير التداخل وان حساب f يعتمد على ($\sin\theta$) وليس على Θ حيث تقل قيمة Θ بأزدياد قيمة $\frac{\sin\theta}{\lambda}$ ، وهناكجداول فيها قيم f كدالة لقيمة $\frac{\sin\theta}{\lambda}$ للذرات المختلفةفي جداول الكتب المتخصصة بعلم حيود الاشعة السينية من البلورت .

ان الشكل (4-5) يبين تغير f لذرة النحاس مع $\frac{\sin\theta}{\lambda}$ ويمكن ان نستنتج من الشكل (4-5) ، ان العامل ، f يقل كلما اقتربت Θ من 90^0 كما تقل قيمة العامل كلما قصرت طول الموجة وفي الحقيقة ان ، f تمثل سعة الموجة المستطيرة ، وبالطبع فأن شدة الموجة . المستطيرة هي مربع (f) ،



$\frac{\sin\theta}{\lambda}$

شكل (4-5)

ولاجل اعطاء مختصر لماتقدم في هذا البند نقول انه عند اختراق الاشعة السينية للمادة تحدث ظاهرتان .

أ - الاستطارة من الالكترونات المقيدة جيدا الى الذرة والتي تستعمل لاستنقاء المعلومات عن انمادة (النموذج) من تجارب الحيود .

ب - الأستطارة من الالكترونات غير المفيدة وفق تأثير كومبين حيث يمكن اعتباره استطارة غير مرنة تسهم في تشويش نمط الحيود ، حيث تكون الشدة موزعة بشكل عشوائي في خلفية النمط (Back ground) وهذا العامل يزداد كلما قل العدد الذري (Z) للذرات المكونة للمادة ، لذلك فـأن الحصول على نمط الحيود من المواد العضوية اصعب نسبيا من المواد غير العضوية (عالية العدد الذري) .

4-5 الاستطارة من وحدة البناء البلوري Scattering by aunit cell

الهدف هو ان نصل الى علاقة تتحكم في شدة حزمة الحيود ، وهنا سوف نحاول ان نصل الى هذة العلاقة ليس للاستطارة من ذرة واحدة وانما من جميع الذرات التي تتكون منها البلورة ، وبما ان الذرات تكون مرتبة ترتيبا هندسيا ووفق انظمة محددة في البلورة ، هذا يعني ان الحيود سيحدث في اتجاهات محددة وتدعى باتجاهات حزم الحيود (أو الحزم المحادة) ومن المعلوم ان هذة الاتجاهات محددة بقانون براك الذي سبق وان شرحناه باسهاب .

لنفرض ان قانون براك يتحقق ، فالمطلوب هو ايجاد شدة الحزمة المحادة من البلورة كدالة لمواقع الذرات ، وبما ان البلورة هي عبارة عن تكرار (Repetitions) لوحدة البناء (Unit cell) لذلك يكفي ان نعتبر ترتيب الذرات في وحدة البناء، ومن ثم تأثير ذلك في شدة الحزمة المحادة ، وفي الحقيقة ان التأثير يشبه الى حد كبير استطارة الاشعة من الذرة المنفردة والتي نوقشت قبل قليل ، ولقد راينا ان هناك تأثيرا في شدة الحزمة المحادة نتيجة لعلاقة الاطوار للحزم المستطارة من الالكترونات في الذرة ، عدا تلك المستطيرة بالاتجاة ($O = 2\Theta$) وبنفس الطريقة.

فأن الحزم المستطارة من الذرات المختلفة في وحدة البناء ليس من الضروري ان تكون متشاكهة ، بل هناك فرق في الاطوار عدا الحزم المستطيرة في الاتجاه $2\theta = 0$ حيث تكون متشاكهة ، وان مهمتنا هي بيان كيفية اعتماد فرق الطور على ترتيب الـــذرات في وحدة البناء .

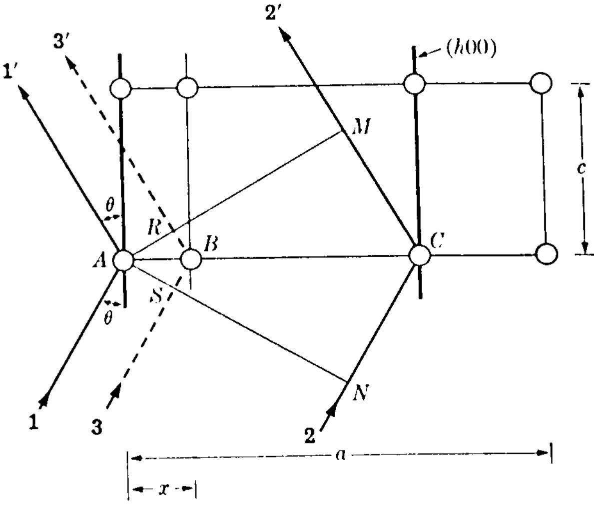
ويمكن ان نعين هذا الاعتماد ، وذلك باعتبار ان فرق الطور بين موجتين مستطارتين من ذرة في نقطة الاصل ومن ذرة اخرى موقعها متغيرفي اتجاة المحور (x) فقط . ولنأخذ وحدة البناء متعامدة الاضلاع ، كما في الشكل (5-5) يبين مقطعاً من وحدة البناء هذة .

لنأخذ الذرة في (A) كنقطة اصل ، ولنفرض ان الحيود يحدث في المستويات (hoo) المبينه بخطوط غليظة في الشكل . وهذا يعني ان قانون براك محقق لهذاالحيود، وان فرق المساريين للموجتين 1 و 2 (S_{12}) اي ان

$$S_{12} = MCN = 2d_{h00} \sin\theta = \lambda$$

ومن تعريف دلائل ميلر

$$d_{h00} = AC = \frac{a}{h}$$



شكل (5-5)

والان لنركيفية تأثير هذه الحزمة المحادة من تلك التي تحاد من الذرة في B ، والتي هي على مسافة X في الذرة A لاحظ اننا نعتبر هذا الاتجاة فقط ، لانه محقق حسب قانون براك من الواضح ان فرق المسار بين الموجتين $3'$ و $1'$ ($\delta_{3'1'}$) سيكون اقل من طول موجة واحدة λ وبتناسب بسيط يكون

$$\delta_{3'1'} = RBC = \frac{AB}{AC}(\lambda) = \frac{a}{a/h}(\lambda) \qquad (3\text{-}5)$$

ويمكن التعبير عن فرق الطور بوحدات طول الموجة او بالقياس الزاوي

(Angular measure)

وان اختلاف موجتين في المسار بطول موجة واحدة

تقابل بالقياس الزاوي اختلافاً في الطور مقداره 360° اي (2π).

فأذا كان فرق المسار (δ) فيكون الفرق في الطور بالقياس الزاوي هو $\Phi = \frac{\delta}{\lambda}(2\pi)$

وفي الحقيقة عبرنا عن الفرق بالطور بالقياس الزاوي وذلك لانه لايعتمد على طول الموجة ، لان عكس ذلك يتطلب تعيين طول الموجة . وبذلك يكون فرق الطور بين الاشعة المستطارة من الذرة B وبين المستطارة من A في نقطة الاصل هو

$$\Phi = \frac{\delta_{3'1'}}{\lambda}(2\pi) = \frac{2\pi h X}{a}$$

فأذا عين موضع الذرة باحداثياتها النسبية $\left(\frac{X}{a}\right) = u$ وبذلك يكون فرق الطور

$$\Phi_{3'1'} = \frac{\delta_{3'1'} h}{\lambda}(2\pi) = 2\pi h u$$

ولنفس السبب نستطيع أن نعمم على احداثيات B النسبيه هي ($\frac{x}{a}$ و $\frac{y}{b}$ و $\frac{z}{c}$) ويعبر عنها بالحروف u, v, w على التوالي ، وبذلك نصل الى العلاقة لفرق المسار بين الموجة المستطارة من الذرة B والمستظارة من الذرة A للحزمة الحادة من (hKL)

$$\Phi = 2\pi(hu + Kv + \delta w) \qquad (4-5)$$

وتعتبر هذه المعادلة من المعادلات العامة ، وتطبق لوحـــدات البنــــــــــاء (Untit cell) في كل الانظمة ومهما كان شكلها .

قد تختلف الحزمتان من A و B ليس في الطور فقط وانما في السعة ايضا وخصوصا اذا كان من عنصرين مختلفين ، وفي هذة الحالة تعطى سعتاهما نسبة الى سعة الموجة المستطارة من الكترون منفرد « f » (عامل الاستطارة الذري) .

ويتبين مما تقدم ان الاستطارة في وحدة البناء هي عبارة عن اضافة موجات ذات سعات واطوار مختلفة الى بعضها لغرض ايجاد المحصلة (Resultant) وكذلك يجب اضافة جميع الموجات المستطيرة من ذرات وحدة البناء بما في ذلـــك تلك المستطيرة من ، A ،(نقطةالاصل) الى بعضها .

واحسن طريقة ملائمة للجمع ، هو ان نعبرعن الموجات بالدالات الاسيـــة المركبة (exponential function ومن ثم جمعهـــا

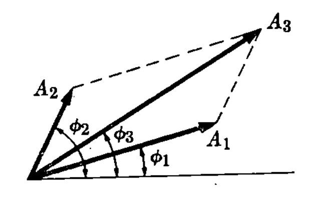
فمثلا يمكن التعبير عن جزمتين للاشعة السينية المحادتين ذات طورين مختلفين على جبهة الموجة بالشكل التالي :

$$E_1 = A_1 \sin(2\pi)\nu t - \Phi_1 \qquad (5-5)$$

$$E_2 = A_2 \sin(2\pi)\nu t - \Phi_2 \qquad (6-5)$$

هاتان الموجتان لهما نفس التردد لذا يكون لهما نفس الطول الموجي ولكن يختلفان في السعة

والطورويمكن جمع موجتين مختلفتين بالطور والسعة بطريقة رسم المتجه كما في الشكل (6-5) ، وان كل موجة تمثل بمتجه ذات قيمة تساوي سعة الموجة وزاويته مع الاحداثي الافقي تساوي طور الموجة ، وبذلك يمكن الحصول على المحصلة بطريقة اكمال متوازي الاضلاع كما هو مبين في الشكل ، والطريقة الاخرى للجمع ، هي طريقة الاعداد المركبة، حيث تستعمل الاعداد المركبة للتعبير عن السعات ، وان العددالمركب يتكون من حدين، حقيقي وخيــــالي مثل (a +ib) ، والاعــــــداد a و b هما حقيقيـــان وان

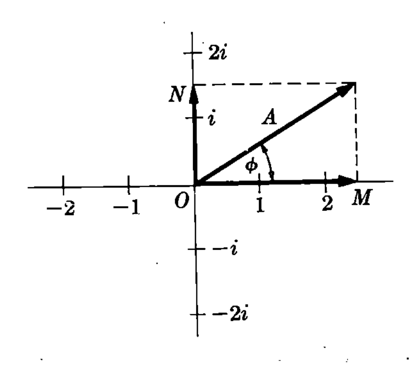


شكل (6-5)

($i = \sqrt{-1}$) هو خيالي ، ولذلك يمكن تمثيل مثل هذا العدد في مستوى مركبي كما هو مبين في الشكل (7-5) ، حيث (A) هي محصلة السعات وا Φ هي طور المحصلة وعملية الجمع هي عبارة عن جمع المتجهات الاعتيادية ، وبذلك تكون طريقة العدد

المركب للتعبير عن الموجات كما يلي :

(A cos Θ + Ai sin Θ) للمتجه **OA** في الشكل (7-5) ،لاحظ ان عملية ضرب المتجه بالعامل (i) يدوره عكس عقرب الساعة وبزاوية قدرها (90^o) ، بعبارة اخرى يحول



شكل (7-5)

المتجه (2) من افقي الى عمودى ، والضرب مرتين بالعامل (i ، $i^2 = -1$)
يؤدى الى تدوير المتجه بزاويه قدرها(180°)

لدينا من الرياضيات الاولية :ـ

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x \qquad (7-5)$$

$$Ae^{ix} = A\cos x + iA\sin x$$

وفي الحقيقة يمكن تمثيل الموجات رياضياً (بأى شكل من جهتي المعادله (7-5) وان الجهة اليسرى تدعى بالتمثيل الاسي المركب .

المطلوب في الحسابات العملية هو شدة الموجة (مربع السعة) وليس السعة ولتسهيل ذلك تمثل الموجه بالدالات الاسية ، حيث ان مجرد ضرب الدالة بالمرافق يعني التربيع في الحساب الاعتيادى ، فمثلا ، مرافق $Ae^{i\phi}$ هو $Ae^{-i\phi}$ وبذلك

$$|Ae^{i\Phi}|^2 = Ae^{i\Phi} \times Ae^{-i\Phi} = A^2 \qquad (8\text{-}5)$$

وهذه هي الكمية المطلوبة للتحليل والتي تسجل على اللوح الفوتوغرافي . لنعد الان الى موضوع اضافة (جمع) الموجات المستطبرة من ذرات وحدة البناء البلورى لبعضها حيث تحدد سعة الموجة بالقيمة (f) و $\frac{\sin\theta}{\lambda}$ من الذرة المعينة ونقطة الحيود المعينة ، كما يحدد الطور وفق المعادلة (4-5) ، وباستعمال العلاقات اعلاه يمكن التعبير عن اية حزمة مستطيرة بالدالة الاسية للمركبة التالية : —

$$Ae^{i\Phi} = f\, e^{2\pi i(hu+kv+\ell w)} \qquad (9\text{-}5)$$

ويرمز لمحصلة الموجات المستطيرة من جميع ذرات وحدة البناء بالحرف (F) يدعى بعامل البناء (structure factor) ويمكن الحصول على هذا العامل بعملية جمع الموجات المستطيرة من الذرات المنفردة في وحدة البناء البلورى

ولنفرض ان وحدة البناء تحتوي على عدد من الذرات 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، N ذات احداثيات نسبية (U_1, V_1, W_1) ، (U_2, V_2, W_2) (U_3, V_3, W_3) .... الخ وعوامل الاستطارة الذريه هي f_1 ، f_2 ، f_3 ... الخ .

وبذلك يكون عامل البناء(F) لنقطة الحيود او خط الحيود (hkl) هو

$$F = f_1 e^{2\pi i(hu_1+kv_1+lw_1)} + f_2 e^{2\pi i(hu_2+kv_2+lw_2)} + f_3 e^{2\pi i(hu_3+kv_3+lw_3)} + \cdots\cdots$$

$$F_{hkl} = \sum_{1}^{N} f_n e^{2\pi i(hu_n+kv_n+lw_n)} \qquad (10\text{-}5)$$

ويمثل الجمع في هذه المعادلة جميع الذرات في وحدة البناء البلورى ويكون العامل(F) بصورة عامة مركب (complex) ، حيث يعبر عن السعة والطور للموجه او الاشعة المحادة (المستطيرة) .

القيمة المطلقة للعامل $|F|$ تمثل محصلة سعة الموجات المستطيرة من الالكترونات المنفردة ، ويعرف $|F|$ كما يلى :

$$|F| = \frac{\text{سعة الموجة المستطيرة من جميع ذرات وحدة البناء}}{\text{سعة الموجة المستطيرة من الكترون منفرد}}$$

ان شدة الحزمة او الموجة المحادة من وحدة البناء بالاتجاه الذي يتنبأ به قانون براك هي $|F|^2$ (مربع محصلة السعة) اومربع عامل البناء ، كما يمكن الحصول على مربع (F) نظريا وذلك بعملية ضرب المعادلة (10-5) مثلا بالمرافق ، وكما ذكرنا ما يسجل على اللوح الفوتوغرافي هو $|F|^2$ وليس $|F|$ ، اى تسجل الشدة (Intensity) وليس السعة . ونؤكد هنا ان العلاقة (10-5) هي من اهم العلاقات في علم الحيود من البلورات حيث يمكننا حساب شدة الحيود لاى (hkl)اذا عرفنا مواقع الذرات في وحدة البناء ، وكما يجب ان نؤكد مرة اخرى انه بالامكان ان نتنبأ بحدود ظاهرة الحيود لاى (hkl) او عدم حدوثها وذلك من العلاقة (10-5)

5 - 5 حسابات عامل البناء : (F)

سنطبق المعادلة (5-10) لحساب عامل البناء لوحدات البناء في بعض الانظمة البلورية .

ان ابسط وحدات البناء هي تلك التى فيها ذرة واحدة ذات احداثيات (000) وبذلك يكون عامل البناء .

$$F = f e^{2\pi i (0)} = f$$

$$F^2 = f^2$$

حيث ان (F^2) تعتمد على (hKL) وهي نفسها لكل نقاط الحيود او خطوط الحيود في هذه المعادلة .

– لنعتبر الان وحدة البناء في الشكل 5 - 1 (a) وان في وحدة البناء هذه ذرتين من نفس النوع واحداثياتهما هي :

$$\left(\tfrac{1}{2}, \tfrac{1}{2}, 0\right) \quad , \quad (000)$$

$$F = f e^{2\pi i (0)} + f e^{2\pi i \left(\frac{h}{2} + \frac{K}{2}\right)}$$

$$= f\left(1 + e^{\pi i (h+K)}\right)$$

ومن الممكن حساب المعادلة الاخيرة دون اجراء عملية الضرب بالمرافق المركب لان (h + k) دائما يكون عددا كاملا ، ولذلك فأن F سيكون ذات قيمة حقيقية وليس مركبة ، فاذا كانت قيم h , k زوجية او احادية (ليست مختلفة) فيكون حاصل جمعها

عددا زوجيا دائما وبذلك تكون

$$e^{\pi i(h+k)} = 1$$

اذا

h, K تكون اما زوجية في آن واحد او احادية (ليس خليطا)

$$\left[\begin{array}{l} F = 2f \\ F^2 = 4f^2 \end{array} \right.$$

اما اذا كانت قيم h, K خليطا (اى زوجيا وأحاديا فان

$$e^{\pi i(h+k)} = (-1)$$

$$F = 0$$

$$F^2 = 0$$

لاحظ هنا قيمة الدليل (ℓ) لا تأثير له عند حساب عامل البناء ، حيث لنقاط الحيود (111) , (112) , (113) , (021) , (022) (013) جميعها $F = 2f$.

وبنفس الطريقة تكون قيمة F للنقاط ,

(103) جميعهما صفرا ، وهذا يعني لا وجود لنقاط الحيود الاخيرة .

– عامل البناء(F)لوحدة البناء متمركز الجسم (Body centered cell),

وان لوحده البناء هذه ذرتين من نفس النوع في الموقعين : (000) ، ($\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$) ، ولذلك تكتب المعادلة بالشكل التالي وبذلك يكون

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{K}{2} + \frac{\ell}{2})}$$

$$F = f[1 + e^{\pi i(h+K+\ell)}$$

وبذلك يكون $F = 2f$

وعندما تكون قيمة $(h+K+L)$ زوجية ، اى ان

$$F^2 = 0 \quad , \quad F^2 = 4f^2$$

عندما تكون قيمة $(h+K+L)$ فردية ، وهذا يعني ان شدة بقعة الحيود او خط الحيود يكون $F^2 = 0$

وهذا يعني انه لا وجود للحيود من المستويات ذات الدلائل التي يكون مجموعهما عددا فرديا

– حساب عامل البناء لوحدة البناء متمركزة الاوجه المبينة في الشكل .

(face centered cubic)

وان وحدة البناء هذه تحوى على اربعة ذرات في الاحداثيات التالية : –

$$(0\ \tfrac{1}{2}\ \tfrac{1}{2}),(\tfrac{1}{2}\ 0\ \tfrac{1}{2}),(\tfrac{1}{2}\ \tfrac{1}{2}\ 0),(0\,0\,0)$$

فنكتب علاقة F بالشكل التالي :

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(h/2 + K/2)} + f e^{2\pi i(h/2 + \ell/2)} + f e^{2\pi i(K/2 + \ell/2)} \ldots\ldots\ldots$$

$$F = f\left[1 + e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}\right]$$

فاذا كانت الدلائل (hkl) جميعها زوجية او احادية (غير مختلطة) فيكون مجموع لحدود $(h+K)$ و $(h+\ell)$ و $(K+\ell)$ عدادا كاملةوزوجية وان كل حد من الحدود اعلاه له قيمة تساوي واحدا ، وبذلك يكون

$$F = 4f$$

$$F^2 = 16f^2$$

الدلائل يجب ان تكون جميعها زوجية او احادية

واذا كانت الدلائل $(hK\ell)$ خليطا من الاعداد الزوجيه والاحادية فيكون مجموع الحدود الاسية الثلاثة هو (1-) سوأكان اثنان من الدلائل احادية والاخر زوجيا او اثنان زوجيان والاخر أحاديا

لنفرض ان h , l اعداد زوجية K احادى مثل (012) فيكون

$$F = f[1-1+1-1] = 0$$

$$F = 0$$

$$F^2 = 0$$

وبعبارةاخرى لا تحدث ظاهرة الحيود من هذه المستويات ، وهذا يعني عمليا اننا لا نسجل نقطة حيود او خط حيود يعود الى المستويات الذرية ذات الدلائل (012) وهذه الحسابات والتنبؤ يفيدنا كثيرا في -لنواحي العملية ، عندما تأتي لتعيين دلائل ميلر لكل نقطة حيود او خط حيود في النظام اعلاه ، فأننا نتوقع نقاط الحيود من المستويات (III) , (200) (220) وليس من (100) و(210) • (112)

وهناك نقطة مهمة يجب ان نستبتجها من حساباتنا اعلاه ، هي ان عامل البناء (F)لا يعتمد (يكون مستقلا) على شكل وحجم وحدة البناء البلورى

(F is independent of the shape and size of the unit cell) .

ولتوضيح ماتقدم اكثر:

نأتي بالمثال التالي، لا نحصل على اية نقاط او خطوط حيود للمستويات (hkl)في وحدة بناء متمركزه الاوجه عندما يكون (hkl)عددا فرديا وبغض النظر عن كون وحدة وحدة البناء هذه مكعبة الشكل اورباعية اوثلاثية اومعينية .

ولتعميم الفائدة نلخص حساباتنا الآنفة في الجدول (5-1)

جـــدول 5 - 1

نوع وحدة البناء	الحيود الموجود	الحيود الغائب
بسيط	جميع النقاط او الخطوط	لا يوجد
متمركز القاعدة	k,h غير مختلط	k,h مختلط
متمركز الجسم	(h+k+l) زوجي	(h+k+l) فردي
متمركز الاوجه	l,k,h غير مختلط	l,k,h مختلط

في الحقيقة ان القواعد التي ذكرت في الجدول اعلاه تحتاج الى بعض التحويرات في الحالات الخاصة ، حيث ان بعض وحدات البناء قد تحوى على عدد من الذرات اكثر مما ذكرت في الامثلة (1-4) ، وقد تكون احداثيات هذه الذرات في وحدة البناء (مواقعها) بشكل يودى الى عدم حدوث الحيود من المستويات التي كان يحدث منها ، وعلى سبيل المثال ، بلورة الماس لها وحدة بناء متمركزة الاوجه (fcc)

ولكن تحوى على ثماني ذرات لكل وحدة بناء ويحدث الحيود من جميع المستويات الذرية ذات دلائل ميلر غير المختلطة (اما مجموعها فزوجي او فردى) ، ومع ذلك فأن نقاط الحيود من المستويات (200) ، (222) ، (420) ... الخ غير موجودة في بلورة الماس .

فالحقيفة التي تبرزهي ان جميع نقاط الحيود ذات مجموع الدلائل غير المختلطة تدل على ان البلورة متمركزه الاوجه (Face centered) وغياب البعض بالرغم من توفر هذا الشرط ، يدل على الترتيب الخاص للذرات داخل وحدة البناء .

ويمكن تلخيص ما تقدم في دراسة المثال الكلاسيكي للبناء البلورى لمادة كلوريد الصوديوم (Nacl) .

- عامل البناء (F) لبلورة Nacl:

وحدة البناء في هذه البلورة هي مكعب متمركزه الاوجه (fcc) يحوى على 4 ذرات من Na ، 4 ذرات من cL واجد اثيات هذه الذرات في وخدة البناء هي .

Na $(0\,0\,0)$ ، $(\frac{1}{2}\,\frac{1}{2}\,0)$ ، $(\frac{1}{2}\,0\,\frac{1}{2})$ ، $(0\,\frac{1}{2}\,\frac{1}{2})$

cl $(\frac{1}{2}\,\frac{1}{2}\,\frac{1}{2})$ ، $(0\,0\,\frac{1}{2})$ ، $(0\,\frac{1}{2}\,0)$ ، $(\frac{1}{2}\,0\,0)$

لدينا هنا نوعان من الذرات Na ، cL ، ولذلك يجب ان نستعمل عامل الاستطارة الذرى لكل من هاتين الذرتين في مواقعهما الصحيحة في معادلة حساب عامل البناء

(F) و اذا تم ذلك نحصل على :

$$F = f_{Na} e^{2\pi i(0)} + f_{Na} e^{2\pi i(h/2+K/2)} + f_{Na} e^{2\pi i(h/2+\ell/2)}$$
$$+ f_{Na} e^{2\pi i(K/2+\ell/2)} + f_{c\ell} e^{2\pi i(h/2+K/2+\ell/2)} +$$
$$f_{c\ell} e^{2\pi i(h/2)} + f_{c\ell} e^{2\pi i(K/2)} + f_{c\ell} e^{2\pi i(\ell/2)}$$

$$F = f_{Na} [1 + e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}] +$$
$$f_{c\ell} [e^{\pi i(h+K+\ell)} + e^{\pi i\ell} + e^{\pi iK} + e^{\pi ih}]$$

تخضع ذرات الصوديوم وكذلك الكلور للنقل المتجه لوحدة البناء ذات الاوجه المتمركزة (fcc) ، وهذايعني بالامكان اخراج العوامل المشتركة من بين الاقواس وهذا يسهل الامر كثيرا ، حيث

$$F = [1 + e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}]$$
$$[f_{Na} + f_{c\ell} e^{\pi i(h+K+\ell)}]$$

الحد الاول يقابل ناقلا متمركز الاوجـــه(face-centring translation)

وهذا الحد يساوي الحد يساوى صفرا للدلائل المختلطة و (4) للدلائل غير ألمختلطة وان هذه الحقيقة لوحدها تبين ان بلورة **NaCl** هي متمركزة الاوجه اى ان للدلائل المختلطة

$$F = 0$$

$$F^2 = 0$$

وبالنسبة للدلائل غير المختلطة (اما زوجية او فردية) فأن

$$F = 4[f_{Na} + f_{c\ell} e^{\pi i(h+K+\ell)}]$$
$$F = 4[f_{Na} + f_{c\ell}]$$

ومن شرط ($h+K+L$) يساوي عددا زوجياوبذلك فأن

$$F^2 = 16 (f_{Na} + f_{cl})^2$$

واذا كان الحد ($h+K+L$) يساوي عددا فرديا فأن :

$$F = 4 (f_{Na} - f_{cl})^2$$

$$F^2 = 16 (f_{Na} - f_{cl})^2$$

وفي هذه الحالة يكون عدد الذرات لوحدة البناء اكثر من أربع ومع ذلك تبقى وحدة البناء متمركزة الاوجه مع ان الاوجه مع ان عدد الذرات ازدادت الى اكثر من اربع في وحدة البناء ، ولم يؤد ذلك الى عدم حدوث الحيود من بعض المستويات ولكن ادت هذه الزيادة في عدد الذرات الى نقصان في شدة بعض نقاط او خطوط الحيود ، وعلى سبيل المثال ، تتعين شدة نقطة الحيود (111) بواسطة الفرق بين بين حدين وليس الجمع كما مبين اعلاه .

6.5 التأثير الحراري : Temperature effect

لقد اجرينا حسابات عامل البناء (F) مع عدة امثلة في انظمة البناء البلوري وبالطبع فأن مربع (F) يعطينا الحيود لزاوية معينة (لنقطة او خط حيود معينة)، والسؤال الذي يطرح نفسة هو هل ان لقياس العملي لشدة الحيود يكون هو نفسة الذي نحصل عليه من الحسابات النظرية « الجواب قطعا لا » حيث ان هناك فرقا بين النتيجتين ويزداد هذا الفرق كلما كبرت زاوية الحيود ، أي كلما كان العدد (n) اكبر

ولابد ان نذكر ان القيمة التي نحصل عليها عملياً هي اقل من القيمة النظرية للشدة وهذا الفرق يأتي من الحقيقة الفيزياوية التي تختصر شرحها : —

لقد فرضنا في كل مناقشاتنا السابقة ان الذرات المكونة للبلورة هي في حالة سكون تام ، وهذا الغرض مناقض للحقيقة ، حيث ان للذرات طاقة حرارية تجعلها تتذبذب حول موقعها بترددعال جدا .

كيف يمكن ان نحسب تأثير هذا العامل او نصحح الخطأ الناتج ؟

يجب ان نفرض بأن الذرة نتيجة لتذبذبها تحتل حجما اكبر من الحجم الذي تحتله في حالة سكونها ، مع ان الذرة تتذبذب بتردد عال (10^{12}Hz) الا انها تبدو بطيئة

الحركة مقارنة بتردد الاشعة السينية (10^{18} Hz) وهذة الحركة النسبية تجعل الذرات تظهر بالنسبة للاشعة الساقطة (الاشعة السينية)وكأنها مزاحة من موقعها .

في الحقيقة ، ان التأثير الحراري ليس بالسهولة التي قد تبدو فالذرات تبقى مرتبطة ببعضها بواسطة القوى البينية للذرات بالرغم من انها تبدو مزاحة حيث ان هذه الازاحة ليست بالعشوائية . (ولسهولة المناقشة نقول ان ارتباط الذرات ببعضها تكـــــون بواسطة قوى مرنة) .

وهذة المرونة تحكم بمعامل ينك (young's modulus)
ومعامل الصلادة وغيرها ، ولذلك تستعمل تجارب الحيود لتعيين الخــــــواص الميكانيكية للمواد (المرونة) بدقه كبيرة .

وكلما قلنا ان التاثير الحراري يقلل شدة الحيود كلما كبرت زاوية براك حيث تنقل الشدة بعامل مقداره ($\text{Cos}\ \Theta$) . ولذلك تكون معدل شدة الحيود متناسبة مع ($1 + \text{Cos}^2 \Theta$) وهناك جداول قياسية تحوي معاملات التصحيح كدالة للزاوية (Θ) ولذلك يجب تقسيم القيمة العملية على هذه الدالة للحصول على نتائج اقرب الى الدقة .

ولا بد ان نذكر هنا ان الجداول تفرض الى النموذج كان في درجة حرارة الغرفة عند تسجيل نمط الحيود منه .

وللحصول على نتائج صحيحة من التجارب العملية بصورة مباشرة ودون اللجؤ الى جداول التصحيح ، يجب اجراء التجارب عند درجات الحرارة المنخفضة للنموذج (درجة حرارة سائل النايتروجين مثلاً) ان تجميد النموذج الى درجة حرارة سائــــل النايتروجين يؤدي الى تقليل تذبذب الذرات ، وبعبارة اخرى تجعلها ساكنة الى درجة ما (لايوجد سكون تام حتى عند الاقتراب من درجة حرارة الصفر المطلق).

7.5 بعض التطبيقات لحيود الاشعة السينية

Application of X - ray diffraction

1.7.5 - تعيين البناء البلوري :

منذ سنة 1913 ولحد الآن تم تعيين ودراسة حوالي خمسة الاف بناء بلوري لمواد مختلفة ، منها المواد العضوية وغير العضوية وسبائكها ، والمعلومات عن البناء البلوري مهمة جدا في مجالات عدة ، منها فيزياء الحالة الصلبة وكيمياء البلورات والعلوم البايلوجية ، ناهيك عن اهمية معرفة البناء البلوري في علم المعادن لفهم ظاهـرة اللدونة(plasticity)والسبائك والتحولات الطورية(plaser transformation)

لقد شرحنا في الفصول السابقة اهم القواعد التي تساعد في فهم وتعيين البناء البلوري ، وكان واضحا ان البناء البلوري يحدد نمط الحيود وبعبارة اخرى شكل وحجم وحدة البناء يحددان الموقع الزاوي لنقاط او خيوط الحيود ، وترتيب الذرات في وحدة البناء مسؤولة عن الشدة النسبية لنقاط او خطوط الحيود ، ويمكن صياغة هذه المفاهم في في الجدول التالي :

البناء البلوري	نمط الحيود
وحدة البناء (unit cell)	الموقع الزاوي للحيود
احداثيات الذرات في وحدة البناء	شدة نقاط اوخطوط الحيود

ولتعيين البناء البلوري المجهول ، يجب ان نتبع الخطوات الثلاث الرئيسية التالية :

1 - يعين شكل وحجم البناء (unit cell) من المواقع الزاوية (angular position) لخطوط الحيود (نقاط او خطوط الحيود) . حيث يجب ان نفرض مقدما نظام تبلور النموذج (هناك سبعة انظمة اشرنا اليها في الفصول الاولى) ، وبعد هذه الفرضية نعلم كل نقطة حيود او خط حيود بدلائل ميلر الخاصة بها (indexing) ،

وتتم هذه العملية بصورة صحيحة عند اختبار النظام البلوري الصحيح ، وبذلك يمكن تعيين شكل وحدة البناء وحجمها من المعادلات البسيطة التي سبق وان اشتقت بالتفصيل .

2 – كما يمكن ان تعين عدد الذرات في وحدة البناء البلوري من المعلومات حول حجم وشكل وحدة البناء ، وكذلك بالاستعانة بالتركيب الكيمياوي لمـــادة البلورة ، بالاضافة الى شدة (intensity) النقاط او خطوط الحيود .

3 – تعيين احداثيات او مواقع الذرات في وحدة البناء البلوري عادة من الشدة النسبية لنقاط او خطوط الحيود .

هذه هي الخطوات الثلاث الرئيسية التي يجب ان نتبعها في حالة تعيين البناء البلوري المجهول ، ولا بد ان ننبه هنا الى ان الخطوة الثالثة هي من اصعب الخطوات ونتيجة لذلك كان تعيين كثير من البناء البلوري للمواد غير كامل ، لذلك تظهر بحوث بين وقت واخر ، نعيد النظر في تعيين البناء البلوري لبعض المواد ، وتدعى هذه الدراسات (Refinemente studies) وبالرغم من ذلك ، فأن مجرد معرفة حجم وشكل وحدة البناء وثوابت البلورة هي ذات قيمة تطبيقية عظيمة .

ومثال على ذلك ، لا يحاول الاختصاصيون في علم المعادن في تعيين البناء البلوري بصورة تامة وانما يكتفون بالمعلومات العامة على حجم وشكل وحدة البناء واما تعيين البناء الكامل فهي من مهمات الاختصاصيين في علم البلورات . حيث يحاولون ايجاد طريقة ونظرية جديدة وحساب حجم المادة لتعيين البناء الكامل.

والشيْ الذي يجب ان يعرفه فيزياوي الحالة الصلبة والمعنيون في علم المعادن هو ان يعينوا بعض البناء البلوري البسيط من معلومات الحيود وكذلك يجب ان يلموا بتعيين الدلائل (Indexing) لنقاط او خطوط الحيود في نمط الحيود من بلورة معروفة

2.7.5 تعيين الدلائل لنقاط او خطوط نمط الحيود لبلورة من النظام المكعبي

Indexing pattern of cubic crystals

ان البلورات ذات النظام المكعب تنتج نمط حيود (نقاط او خطوط) وان قيمة مربع دالتها الجيبية (whose $\sin^2 \Theta$) تحقق المعادلـــــة التاليـــة : –

$$\frac{\sin^2\theta}{h^2+K^2+\ell^2} = \frac{\sin^2\theta}{3} = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

وبما ان $S^2 = (h^2+K^2+\ell^2)$ ، تساوي عددا كاملا في جميع الحالات .

والكمية $\frac{\lambda^2}{4a^2}$ هي كمية ثابتة لكل انماط الحيود ، لذلك فأن اعطاء دلائل ميلر لنقاط الحيود من بلورة مكعب النظام غاية في البساطة ، اذ ان كل ما في الامر هو ايجاد مجموعة ثوابت (a) التي تحقق المعادلة السابعة وخصوصا القيمة المقاسةلمربع جيب الزاوية $\sin^2\theta$ ويمكن ان نتنبأ الاعداد الكاملة التي تحقق المعادلة . مثال على ذلك ، ان الاعداد 7، 15، 23، 28 .... الخ تكون خارج مجال المحاولة حيث لا يمكن على هذه الاعداد من جمع مربعات ثلاثة اعداد كاملة (حاول بنفسك) وعند ايجاد قيمة (S) الصحيحة يمكن توزيعها على (hKl) بسهولة (سنحاول اعطاء امثلة عملية في الفصول القادمة) .

ان قيمة (S) لنقاط او خطوط الحيود من الانواع الثلاثة للنظام التكعيبي وعلى سبيل المثال ، المكعب البسيط (Sc) 1, 2, 3, 4, 5, 6,
8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16.

متمركز الجسم (BCC) 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16

متمركز الاوجه (FCC) 3, 4, 11, 12, 16

بناء بلورة الماس (Dimond cubic) 3, 8, 11, 16

ولغرض التوسع في موضوع تعيين الدلائل لانماط الحيود من البلورات ذات الانظمة المختلفة (غير المكعب) فننصح القارىء الرجوع الى **Philips, Gulitty** .

سؤال - حصـــــلنا على نمط الحيــــــــــود لمســــــــــحوق الالمنيوم (Powder pattern of aluminum) باستعمال الاشعة السينية ($CU\ k_{\alpha}$) خطوط الحيود في نمط الحيود ذات مواقع زاوية قيمة مربع جيبها ($\sin^2\theta$) هي : , 0.118, 0.1487, 0.294, 0.403, 0.403, 0.403, 0.872, 0.981 $\sin^2\theta$
0.439, 0.583, 0.691, 0.727,

جد دلائل ميلر لخطوط الحيود اعلاه واحسب ثوابت البلورة.

الفصل السادس

الفصل السادس

بعض التطبيقات العملية للحيود

1.6 تعيين مخطط الطور Phase-Diagram determination

السبيكة هي عبارة عن تركيب يتكون من عنصرين او أكثر من العناصر المعدنية او العناصر غير المعدنية ، وتتكون السبيكة كما هو معروف من طور واحد (Single phase) او خليط من الأطوار mixture of phases وقد تكون هذه الأطوار من أنواع مختلفة ، يعتمد ذلك على عدة عوامل مثل التركيب Composition ، درجة الحرارة وعندما تكون السبيكة في حالة التوازن equilibrium ، ويكون بالامكان ان نبين التغيرات نتيجة لتغير التركيب او درجة الحرارة على مخطط الطور (phase diagram ، وبصورة عامة يتكون الطور من رسم درجة الحرارة كذلك لتركيب السبيكة (النسبة المئوية للعناصر المكونة للسبيكة) ، ويتكون مخطط الطور من عدة مناطق مميزة ، فهي اما اطوار منفردة او خليط من الاطوار متواجدة في حالة التوازن .

ولا نريد هنا ان نبين الاهمية العظيمة لمخطط الطور بالنسبة للعاملين في حقل المعادن او علم المادة بصورة عامة ، حيث بذلت جهود عظيمة في تعيين مخطط الطور للسبائك الثنائية او النهائية وبطرق مختلفة .

مثل التحليل الحراري او بأستعمال المجهر الضوئي ، فأستعمال طريقة حيود الاشعة السينية تعتبر خطوة جديدة متطورة ومكملة لهاتين الطريقتين أضافة الى أن حيود الاشعة السينية تعطي بعداً آخر ، حيث يمكن معرفة البناء البلوري للمواد في اطوارها المختلفة (يختلف البناء البلوري للمواد بأختلاف مخطط درجة الحرارة مثلاً)

تختلف كفاءات الطرق المختلفة لتعين مخطط الطور المختلفة في الطور فمثلاً طريقة طريقةالتحليل الحراري جيدة جداً لتعين خدود الانجماد (Solidus) وحدود الانصهار (Liquidus) ، وكذلك تكون هذه الطريقة ملائمة لتعيين افقي اليوتيكتية (eutectic) ولكن تفشل هذه الطريقة لتعيين البرتكنويود والبريتكيود نتيجة لتأثير بعض التفاعلات في الحالة الصلبة أو الحرارية ، بينما تبرز طريقة حيود الاشعة السينية كأداة ممتازة لتعيين مخطط الطور بكل تفاصيله ، وبالرغم من ذلك يجب عدم الاعتماد على طريقة واحدة ، وانما اعتماد الطريقة الملائمة للمسألة المعينة

2.6 المبادىء العامة : General principle

ان الحقيقة التي اكدنا عليها سابقا ، والتي تعتبر المفتاح في تفسير نمط الحيود للمسحوق هي ان لكل طورمن المادة نمط حيود خاصا بذلك الطور ومميز ، ولا يتأثر بوجود طور اخر او غيابه ، حيث ان نمط الحيود لمادة ذات طور منفرد يكون منفردا (Single pattern) ، والحيود من مادة ذات طورين مثلا يتكون من نمطين متراكبين ، حيث ان كل نمط يعود لطور معين يمكن تشخيصها بسهولة ، لنفرض على سبيل المثال ان المعدنين B و A يذوبان بصورة تامة ببعضها في الحالة الصلبة α (ويدعى بطور السائل الصلب المستمر) وهو من نوع الاحلال (Subsitutional type) ، حيث يكون متغيرا بالتركيب ولكن يحتفظ بنفس البناء البلوري ، من A الى B نقي وبالطبع للمعدن A بنفس البناء البلوري للمعدن B ، وبعبارة اخرى البناء البلوري لخليط من B و A وبأي نسبة يبقى هو نفسه لأي منها .

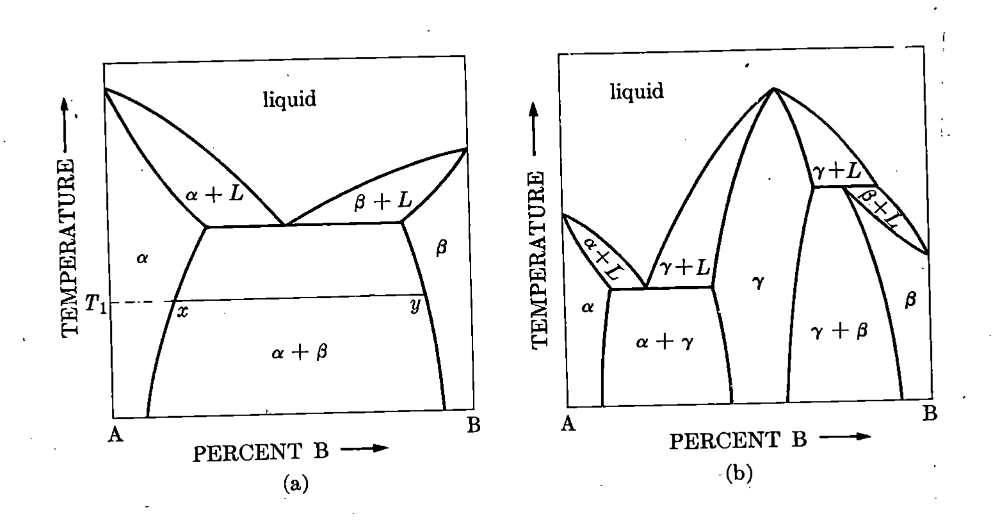
ومع ان السائل الصلب للمعدنين B و A يحتفظ بنفس البناء البلوري الاصلي لهذين المعدنين ، فأن ثوابت وحدة البناء ، بالاحرى عوامل البلورة تختلف بأختلاف التركيب النسبي للمعدن A في B أو بالعكس وهذا يعني أن نمط الحيود يبقى نفسه من ناحية الشكل العام ، ولكن تزاح خطوط الحيود بنسبة تغيير عوامل البلورة .

ولنأخذ حالة عامة يكون فيها المعدنان B و A ذائبين في بعضهما جزئيا في الحالة الصلبة ، عند أضافة B الى A يتكون سائل صلب من البناء البلوري للمعدن A ، وقد تتمدد شبكة البناء البلوري للمعدن A او نقلص نعتمد على حجم ذرات B و A وكذلك على نوع سائل الصلب الذي سيتكون (هل هو من نوع الاحلال او التركيب البيتي مثلاً) ، وعند الاستمرار في اضافة A الى B تصل الى غاية او حد ذوبان B في A ، وعند ذلك يبدأ تكون او ترسب طور اخر ، وهذا الطور الجديد قد يكون مشبعا بالمعدن B (B-rich) وله نفس البناء البلوري كما للمعدن B .

السائل الصلب α و β يعرفان بالسائلين الصلبين الاولين (primary solid solution) في الشكل (1-6)[a] وقد يظهر طور ثان لا علاقة له بالسائل

الصلب المتبع بالمعدن B ، كما في الشكل (1-6)[b] وهنا ظهر طور اخر γ والذي هو عبارة عن حالة فوق الاشباع للطور α بالمعدن B ، **الطور γ** يدعى بالطور الوسطي .

(intermediate phase) والبناء البلوري لهذا الطور يختلف عن البناء البلوري للطور α و β ، ويكون منفصلا عن الاطوار الاخرى في مخطط الطور بمنطقتين أو اكثر من مناطق الاطوار كما هو مبين في الشكل .



شكل (1-6)

هناك مخططات اطوار اكثر تعقيدا مما نقدم بكثير تلاقيها في الحياة العملية ولحسن الحظ يمكن اختزالها الى انواع بسيطة جدا .

وعند فحص مخطط الطور لسبيكة مجهولة ، يكون من الافضل ان ننظر للنظام كــكل في باديء الامر ، وذلك يأخذ عينات (سباتك) ذات تركيبات مختلفة (بنسب مئوية مختلفة من B,A) تتراوح هذه العينات بين A نقي و Bنقي ، وتدرس

انماط الحيود لهذه العينات المختلفة المختلفة بضمنها نمطا الحيود للمعدن النقي A والمعدن النقي B ومن انماط الحيود هذه يمكن تعيين مخطط الطور، بمراعاة النقاط او المبادئ التالية ؟ —

١ – التوازن : – يجب ان تكون السبيكة في حالة توازن عند درجة الحرارة التي فيها يعين مخطط الطور .

٢ – تسلسل الاطوار : – يجب ان يمر الخط الافقي في مخطط الطور (الذي يمثل درجة حرارة ثابتة) من منطقة طور منفرد ومنطقة ثنائية الطور بشكل متعاقب .

منطقة الطور المنفرد : – (Single phase region)

ان التغير في التركيب في هذه المنطقة يؤدي الى تغير في عوامل (ثوابت)البناء البلوري ، وبعبارة اخرى يؤدي الى ازاحة في خطوط الحيود الخاص بهذا الطور .

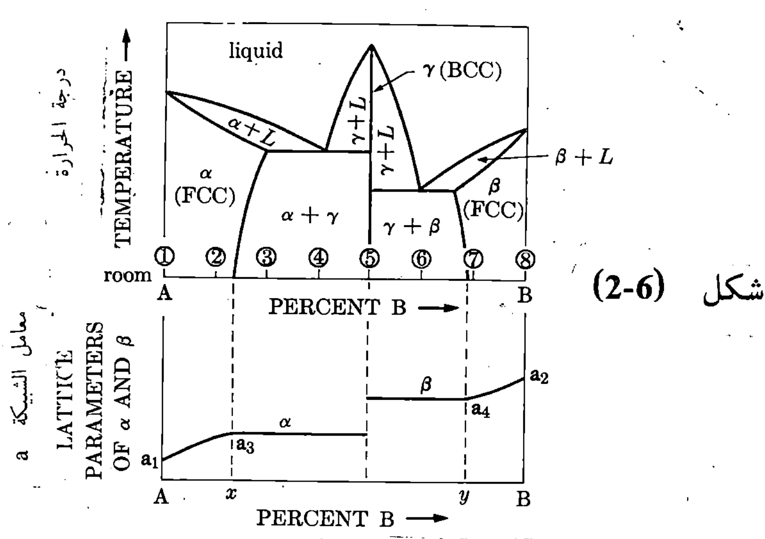
– منطقة ثنائي الطور : – (Two phase region) في منطقة ثنائي الطور (في مخطط الطور) ، يؤدي التغير في تركيب السبيكة الى تغير في نسبة وجود الطورين ولا يؤدي الى تغير في تركيبهما ، لذلك يكون نمط الحيود لـكل طور واضحا ومتراكبا من الطور الاخر .

لنأخذ مخطط الطور لسبيكة نظرية (فيها بعض الخواص العامة) وليكن هذا المخطط كما فى الشكل (6-2) ، والمطلوب هو الحصول على نمط الحيود (بأستعمال الاشعة السينية) من ثماني مناطق في هذ ا المخطط وهذا يعني من ثماني سبائـك ذات تركيبات مختلفة ، وقد عملت هذه المناطق بالارقام من1 - 8على المخطط ، ولقد فرضنا بأن مجمل النظم في المخطط أعلاه هو في حالة التوازن عند درجة حرارة الغرفة (بواسطة التبريد البطئ) لنضع نتائج الحيود بشكل تخطيطي اسفل المخطط الشكل (6 - 3)

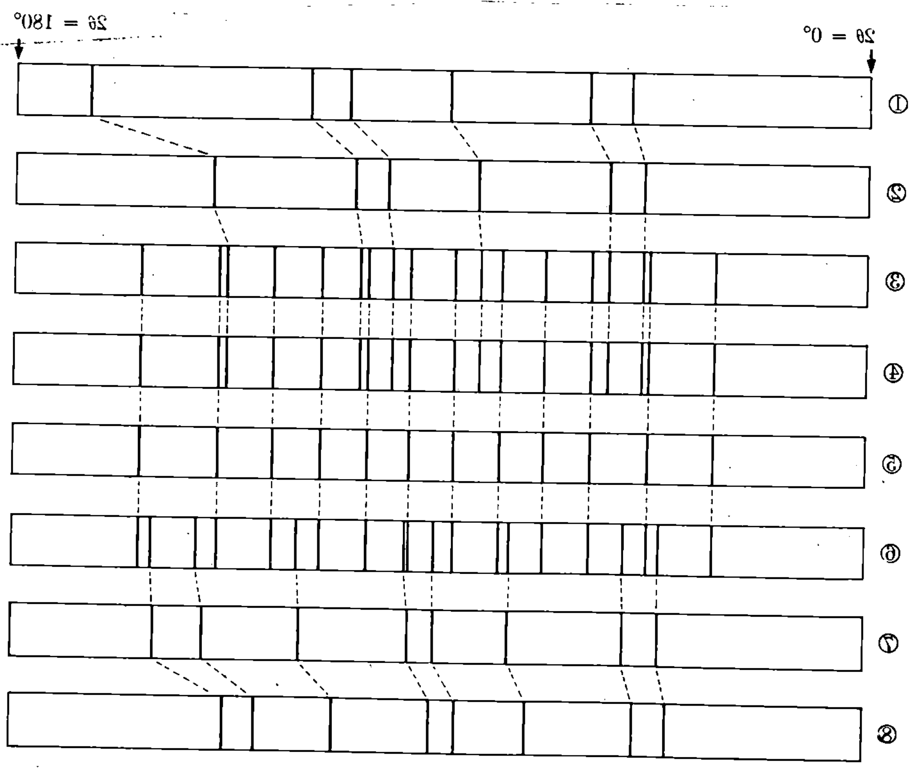
وعند نفحص نتائج الحيود نستنتج ما يلـــــــي : –

(1) يبين النمط من المعدن النقي A ، ان هذا المعدن هو ترتيب بلوري من نظام مكعب ذي الاوجة المتركزة (Fcc)

(2) يبين نمط الحيود من α ان هذه السبيكة مشبعة بالمعدن B وقـد تمددت شبكة البلورة مؤدية الى ازاحة خطوط الحيود نحو قيمة الراوية (2θ) الصغرى


liquid
γ (BCC)
α+L
γ+L
γ+L
β + L
α
(FCC)
α + γ
γ + β
β
(FCC)
TEMPERATURE
درجة الحرارة
room
A
B
PERCENT B
LATTICE PARAMETERS OF α AND β
a معامل الشبكة
β
α
a1
a2
a3
a4
x
y
PERCENT B

شكل (2-6)


2θ = 180°
2θ = 0°

شكل (3-6)

(3) نمط الحيود من α وγ متراكبين (Superimposed)

(4) يبين نمط الحيود ان للسبيكة (γ) تركيبا بلوريا يعود للنظام المكعب المتمركز الجسم (Bcc).

(5) انماط الحيود من γ و B متراكبين

(6) يبين نمط الحيود من المعدن النقي (B) ان لهذا المعدن تركيبا بلوريا يعود النظام اكعب المتمركز الاوجه (Fcc).

هناك الكثير الذي يمكن ان نناقشه او نستنتجه من نتائج تجارب الحيود في في مجال تعيين مخطط الطور ، ولكن يأخذ ذلك حيزا كبيرا قد يعطي الانطباع اننا نبحث في موضوع فيزياء المعادن .

ولا بد للمهتمين بهذا الموضوع ان يعودوا الى المرجع (Gulitty) على سبيل المثال .

من تطبيقات الحيود المهمة الاخرى التي اسهمت في فهم المادة على المستوى الذري والجزئي ، ومن ثم وضع المواد الصحيحة للتطبيق التكنولوجي الصحيح هي للكشف عن التحولات البنائية المنتظمة (البلورية اا الى البناء غير المنتظم نسبياً (disorder) وبالطبع تحدث هذه التحولات نتيجة لارتفاع درجة حرارة السبيكة ، كما سنأتي لشرحها بعد قليل ، ويجب الا تفوتنا ان نقول ان تحول السبائك او المواد من بناء الى اخر وخصوصا البناء البلوري الى البناء غير المنتظم نسبيا

(Order - Disord or Transformation)

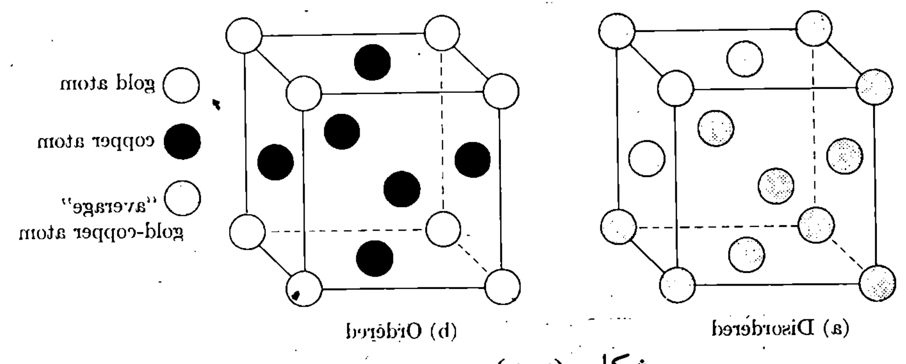
يؤدي الى تغيرات في خواص هذه السبائك الفيزياوية والميكانيكية وغيرها ومن هنا تأتي اهمية دراسة هذه التحولات البنائية بدقة كبيرة وذلك بأستعمال تكنيك حيود الاشعة السينية مثلا .

ولنأت بمثال على هذه التحولات قبل الدخول في التفاصيل : - من المعلوم ان معظم السوائل الصلبة من النوع الاحلالي (Subsititutional solid solutions) تحوي على نوعين من الذرات A و B ، وتكون هذه الذرات مرتبة بشكل عشوائي تقريبا في موقع الذرات للشبيكة البلورية ، وفي هذا النوع من السائل الصلب يكون التأثير الوحيد لارتفاع درجة حرارة السبيكة هو زيادة في سعة (Amplitude) تذبذبات الذرات حول موقعها ، وعند انخفاض درجة الحرارة يحدث العكس ، وهناك بعض السوائل الصلبة تكون ذات تركيب منتظم يتحول الى تركيب غير منتظم نسبيا في درجات الحرارة العالية فقط ، على كل حال عند تبريد مثل هذه السبائك تحت درجة حرارة قلقة مثل Tc، تعيد الذرات تركيب نفسها (B,A) وبشكل دوري ، اي يتكون البناء البلوري المألوف حيث ترتيب الذرات A في مستويات ذرية معينة وكذلك الذرات من نوع B ، حين ذلك نقول ان السائل الصلب ذو تركيب منتظم ويمتاز بالشبيكة الفائقة (Super lattice) وعندما يستمر تركيب الذرات لمسافة كبيرة نسبيا في البلورة ، نقول ان البناء مرتب بمدى طويل (long - range order) . وعند ارتفاع درجة حرارة السبيكة مرة اخرى فوق T_c يفقد التركيب ترتيبه مرة اخرى ويكون غير مرتب ، (Disorder)

3.6 الترتيب ذو المدى الطويل لسبيكة الذهب – النحاس .

Long - range in $AuCu_3$ تكون ذرات النحاس او الذهب مرتبة بشكل عشوائي في موقع الذرات في الشبيكة البلورية عند درجة حرارة **395 C** فما فوق ، وتدعى درجة الحرارة هذه بالدرجة القلقة ، ، وان وحدة البناء في هذه السبيكة هي مكعب ذو متمركز الأوجه والشكل (4- 6)[a] يوضح ان التركيب العشوائي لذرات الذهب والنحاس في مواقع الذرات في الشبيكة البلورية .

فأذا كان عدم التركيب كاملا **Disorder is complete** فيكون بالمقابل احتمال وجود ذرة الذهب في اي موقع من مواقع الذرات في وحدة البناء يساوي $\frac{1}{4}$ ، وهذا هو نسبة وجود ذرات الذهب في السبيكة ، وان احتمال كون هذه المواقع محتلة من قبل ذرات النحاس يساوي $\frac{3}{4}$ ، وهذا هو نسبة وجود النحاس فى السبيكة ، وحيث ان هذه الاحتمالات تكون صحيحة لكل موقع من مواقع الذرات في وحدة البناء ، وعند اعتبار وحدة البناء ككل ، فنأخذ معدل احتمال وجود أية ذرة من الذرات ، كما في الشكل (4-6)[a] عندما يكون الترتيب كاملا(الشكل (4-6)[b] ، حيث تحتل ذرات الذهب زوايا المكعب فقط ، وتكون ذرات النحاس في مراكز الاوجة ، كما هو



شكل (4-6)

واضح في الشكل حيث ان وحدتي البناء a و b هما مكعبان ولهما نفس الثوابت (العوامل) .

واذا أخذنا مستوى ما من البناء البلوري في الشكل (6-4)[a] فيكون ترتيب الذرات كما في والشكل (6-4)[b] بمثل البناء في حالة الترتيب التام المشار اليه في الشكل (6-4)[b] لقد وجدنا ان الكثير من السبائك الاخرى لها نفس ترتيب سبيكة الذهب - النحاس مثل $Ptcu_3$, $Fe\ Ni_3$, $MnNi_3$, $(Mn\ Fe)\ Ni_3$

ما هي الفروق التي سنلاحظها بين نمط الحيود للبناء المرتب **(order)** وللنمط من البناء غير المرتب **(disorder)** للسبيكة $A_U C_{US}$ مثلا ؟ نظرالعدم حدوث اي تغير في شكل وحدة البناء عند التحول من البناء المرتب وبالعكس وكذلك عدم وجود تغير في الجسم ، لذلك لا نتوقع أية تغيرات في المواقع الزاوية لبقع او خطوط الحيود . **(position of diffraction Lines)** ولكن هناك تغيرات في ترتيب الذرات ضمن وحدة البناء ، وهذا بالطبع يؤثر في شدة بقع او خطوط الحيود وان التغير في شدة نقاط الحيود او خطوط الحيود .

يمكن التنبؤ بها من حساب عامل البناء **(F)** لكل ترتيب ذري على حدة ولنبدأ في حساب **(F)** للبناء غير المرتب .

أ - البناء غير المرتب **(disorder)**

معدل معامل الاستطارة الذري لذرتي الذهب والنحاس **(fau)**

هو :

$$f_{au} = f_{Au} + f_{Cu} = \frac{1}{4} f_{Au} + \frac{3}{4} f_{Cu}$$

(حيث ان نسبة وجود ذرات الذهب هو ($\frac{1}{4}$) ونسبة وجود ذرات النحاس هو $\frac{3}{4}$ في السبيكة) .

هناك أربع ذرات في وحدة البناء (كمعدل ، كما في الشكل (4-6)[a] متواجدة في المواقع ذات الاحداثيات

$$\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0 \quad , \quad \frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2} \quad , \quad 0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$$

وبذلك يكون عامل البناء (F) كما يأتي :

$$F = \sum f e^{2\pi i(hu+kv+\ell w)}$$

$$F = f_{au}[1 + e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}]$$

$$F = 4 f_{au} = (f_{Au} + 3 f_{cu})$$

هذه في حالة كون ($hk\ell$)غير مختلطة (اما فردية او زوجية) بالنسبة للدلائل

($hK\ell$) المختلطـــة : — $\qquad F = 0$

ومن هذا نستنتج ان السبيكة التي تكون فيها الذرات غير مرتبة (disorder) تعطينا نمط حيود مشابها النحاس الذي نحصل عليه من متمركز الاوجه (Fcc) مثل نمط الحيود من الذهب او النحاس النقي ، حيث لا يوجد خط او بقعة حيود ذات دلائل ملــر المختلطـــة

ب – البناء المرتب الكامل (Complete order) : —

تحوي وحدة البناء في هذه الحالة على ذرة ذهب واحدة ذات احد اثيات (000) ثلاث ذرات من Cu في المواقع التاليــة : —

$\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$ ، $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$ ، $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ ، وبذلك يكون

عامل البناء (F) كما يأتي :

$$F = f_{Au} + f_{Cu}\left[e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}\right]$$

ويكن تبسيط هذه المعادلة بناء على المعلومات مــن الامثلة السابقــة الى الشكــل التالــــي : —

$$F = (f_{Au} + 3f_{Cu})$$

للدلائــل $hK\ell$ غير المختلطة ((unmixed) كما نحصل على

$$F = (f_{Au} + f_{Cu})$$

بالنسبة للدلائــل $hK\ell$ المختلطة (mixed)

وهذا يعني ان البناء المرتب (الشكل (4-6)[b] يؤدي الى حدوث الحيود لكل قيم (سواء كانت مختلبطة او غير مختلطة) ، وهذه الخاصية تجعل هذا البناء مشابها لنظام المكعب البسيط في في التركيب البلورى . —

4.6 التحليل الكيمياوي بواسطه الحيود

Chemical analysis by Diffraction

لا شك ان نمط الحيود هو خاصية مميزة للمادة المعينة ، وبعبارة أخرى للمواد المختلفة أنماط حيود مختلفة وهذا يعني انه بالامكان استعمال طريقة الحيود للكشف وتشخيص المواد ، ليس لاستخلاص المعلومات التي نحصل عليها بالتحليل الكيمياوي وانما استخلاص معلومات لا يمكن للتحليل الكيمياوي ان يكشف عنها .

فمثلا اذا كانت المادة ذات تركيب A_XB_Y فأن نمط الحيود سيخبرنا عن المادة كما هي ، بينما التحليل الكيمياوي يخبرنا عن وجود B,A ، وفي الحقيقة تحليل نمط الحيود كميا وخصوصا شدة الحيود يمكن الحصول على معلومات كمية عن مركبات

المادة كما هي الحالة في طريقة التحليل الكيمياوي ، مثال آخر ، اذا كانت المادة تحوي على المركبات A_XB_Y و A_XB_{2Y} فأن نمط الحيود لها يتضمن معلومات عن هذه المركبات كما هي ، بينما التحليل الكيمياوي الأعتيادي سيخبرنا عن وجود فقط B,A

ولنناقش مثالا حيويا من الناحية التطبيقية : فمثلا التحليل الكيمياوي للصلب (steel) ، يبين لنا ان الصلب يحوي على كميات محددة من الكاربون والمنغنيس..الخ ولكنه لا يبين أية معلومات عن الأطوار (phases) الموجودة في الصلب ، مثل ، هل ان الصلب عبارة عن مارتنسايت (martensite) اوستنايت (Austenite) اوخليط من هذين الطورين ، اذ ان الصلب هو فيرايت وسمنايت(ferrite and cemenite) يمكن الاجابة على هذه الأسئلة باستعمال طريقة الحيود ومن أهم التطبيقات الأخرى للحيود هي الكشف عن المادة عند تواجدها بهيئات بنائية مختلفة ، فمثلا تتواجد السليكة (slica) الصلبة في حالة بناء غير متبلور ، بناء عشوائي ، وستة أنواع من البناء البلوري . حيث ان أنماط الحيود تكون مختلفة لكل حالة بناء من هذه الحالات ، لذلك تستعمل طريقة الحيود بكفاءة عالية للكشف عن وتحليل المواد المختلفة . مثل الأتربة الصناعية والسبائك وناتج التآكل والأطيان المعدنية (Clays) وغير ذلك ، حيث ان طريقة الحيود تمتاز بسرعتها وصغر حجم او كمية النموذج المطلوب للفحص كما طريقة الحيود من الطرق اللاتدميرية في الفحص(nondestructive test)

5.6 التحليل النوعي (Qualitative Analysis)

المبادئ الأساسية :-

لقد سبق وان ذكرنا ان نمط الحيود هو خاصية من خواص المواد والذي بواسطته يمكن تشخيصها (اي ان نمط الحيود يشبه في وظيفته طبع الأصابع التي تشخص الأفراد) ، فلو فرضنا ان لدينا عددا كبيراً من أنماط الحيود ومن مواد مجهولة(Unknown) فأن الطريقة البدائية هي ان نقارن هذه الأنماط مع أنماط الحيود من المواد المعروفة ، وعند التطابق يتم تشخيص المادة ولكن هذا يستوجب أن يحوي ملفنا على اعداد كبيرة جدا من أنماط الحيود ولكافة المواد تقريبا ،مما يجعل هذه الطريقة ، اي طريقة المقارنة ، صعبة وغير عملية ، لذلك لا بد ان يكون هناك نظام (System) يصنف أنماط الحيود المعروفة وفقا لبعض المعايير ، وبذلك تكون المقارنة والتشخيص سريعين نسبيا .

لقد صمم هنوالت (Hanawalt) نظاما سنة **1936** يمكن بواسطته اجراء المقارنة لتشخيص المواد من انماط حيودها ، حيث يتميز كل خط حيود بالزاوية 2θ وشدة الخط هي I ، ولكن الزاوية(2θ) تعتمد على طول موجة الأشعة المستعملة λ ، لذلك يستعمل عامل أساسي آخر وهو المسافة البينية بين المستويات الذرية (d_n) التي تحدد بموقع خط الحيود أيضا ، لذلك قرر هنوالت أن يصنف أنماط الحيود بجدولة قيم (d) والشدة النسبية I للخطوط في كل نمط .

حيث يرتب الأنماط المعروفة وفقا لقيم (d) التناقصية للخطوط ذات الشد ، العالية ، وهذه الطريقة تجعل البحث او تطابق النمط المجهول مع النمط المعروف سهلا وسريعا ، حيث ان لهذه الطريقة فائدة اضافية . وهي عدم الحاجة لتعيين البناء البلوري للمادة في كل حالة . والآن نشرح طريقة هنوالت بشيء من التفصيل .

1.5.6 طريقة هنوالت The Hanawalt method

ان عملية جمع أنماط الحيود المعروفة للمواد بدأها هنوالت ومساعدوه حيث تمكنوا من أن يصنعوا انماط الحيود لألف مادة تقريباً تبعتهم في ذلك بعض الجمعيات العلمية العالمية. حيث امكن لحد الآن جمع المعلومات وتبويبها على كارتات حجم $3 \times 5''$ لحوالي 5900 مادة تتراوح بين المعادن والسبائك والمواد غير العضوية والعضوية .

في الحقيقة هناك عدة مواد تتشابه الى حد كبير في قيم (d) للخطوط الاولى من الحيود ذات الشدة العالية ، وبذلك بدأ هنوالت بفحص كل مادة بواسطة قيم (d) لثلاثة خطوط ذات الشدة العالية اي d3,d2.d1 وبذلك ضمن عدم تداخل أنماط الحيود المتشابهة . وقد خصص لكل مادة في هذا النظام بطاقة خاصة تحوي كثيرا من المعلومات البنائية ، وهذه البطاقات مستصحبة بدليل للاستعمال واستخلاص المعلومات منها (ASTM diffraction data) وهناك عدة نقاط مهمة يجب اتباعها لتشخيص نمط الحيود من مادة مجهولة وهي

1- يجب أن تبرمج الشدة النسبية (I/I_o) وقيم (d) لنقاط او خطوط الحيود المقاسة عمليا من المادة المجهولة .

2- ابحث عن قيم مجموعة (d_1) في دليل البطاقات

3- ابحث عن قيم (d_2) لايجاد أقرب تطابق مع القيم العملية ولا بد ان نسمح لاختلاف في حدود $(0.01\ A^o)$

بعد ان وجد التوافق بين قيم d_1,d_2,d_3 المقاسة والمذكورة في الدليل قارن الشدة النسبية لنقاط او خطوط الحيود العائدة لقيم d_1,d_2,d_3 وعند تطابق هذه العوامل يكون التشخيص كاملا . بالنسبة للكشف عن الأطوار الموجودة في المادة ونسبة وجودها والتي تخص بصورة خاصة العاملين في مجال علم المعادن **(Metallurgy)** ننصح المهتمين بالرجوع الى **(Baryett)**

حيود الألكترونات السريعة

الفصل السابع

1.7 نبذة تاريخية :-

الخاصية الموجية للالكترونات :-

أكتشف حيود الالكترونات السريعة من قبل :-

(Thomas and Reid Davission and Germer)

وهم يحاولون اثبات نظرية deBroglie والتي تنص على ان الدقائق المعجلة تصطحب بطول موجي ، ولا بد ان نذكر ان الخاصية الموجية للالكترونات هي احدى أساسيات فيزياء الكم .

وبما ان الالكترونات المتحركة (المعجلة) تصطحب بطول موجي يعبر عنه بالصيغة الآتية :- (1-7)

$$\lambda = h / P$$

حيث λ هي الطول الموجي و h هو ثابت بلانك (planck constant) و P هو زخم الجسيم (الالكترون) . لنفرض ان الألكترون يعجل من خلال جهد كهربائي V وسرعته الابتدائية تكون صفرا ، وعند وصوله الى نقطة ذات جهد V تتساوى الطاقة الحركية والمكتسبة مع كمية الطاقة المفقودة اي ان

$$Ve = \frac{P^2}{2m} \qquad (2-7)$$

حيث e ، m هما شحنة وكتلة الالكترون على التوالي .

وبالتعويض في المعادلة (1-7) عن P نحصل على ان

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \qquad (3-7)$$

وبالتعويض عن الثوابت m ، e ، h في المعادلة رقم (3-7) نحصل على ما يلي :

$$\lambda = \sqrt{\frac{1500}{V}} \qquad (4-7)$$

حيث λ تقاس بـ V_9Pm بـ (kv) . وعلى سبيل المثال ان طـــول موجـة الالكترون عند 100KV هي 0.0387 انكستروم (A^{o}) علما ان

$$1 A^{o} = 10^{-10} m$$

$$1 A^{o} = 100 Pm$$

$$10 A^{o} = 1 nm$$

$$1 A^{o} = 10 nm$$

وعند استعمال فرق جهد كبير (اكثر من 100 Kv) لتعجيل الالكترونات فيجب استخدام القوانين النسبية لحساب الطول الموجي ، وان التعديل الذي يطرأ هو حساب فرق الجهد نسبيا (V^{*}) لذلك تكون العلاقة كالاتي : —

$$V^{*} = V(1+10^{3-}v)$$

حيث V و V^{*} يقاسان بوحدات الكيلو فولت (KV) .

نستخدم ظاهرة حيود الالكترونات لدراسة التركيب البنائي وعلى المستوى الجزيئي والذري للمواد والسبائك على اختلاف تراكيبها وانواعها .

2.7 الفحص البنائي (Structural investigation)

ونقصد بالتركيب البنائي هو تركيب الذرات والجزيئات في البلورة او العيوب الموجودة في البناء البلوري (Defects) ، حيث ان للحيود علاقـة كبيرة بالخواص الميكانيكية والفيزياوية والتي سبق شرحها بالتفصيل في الفصول الاولى . أما الاجهزة المستعملة لهذا الغرض هي .

1 — كاميرة الحيود الالكتروني Electron diffraction Camera

2 — استخدام المجهرالالكتروني للحصول على الحيـــــــــود

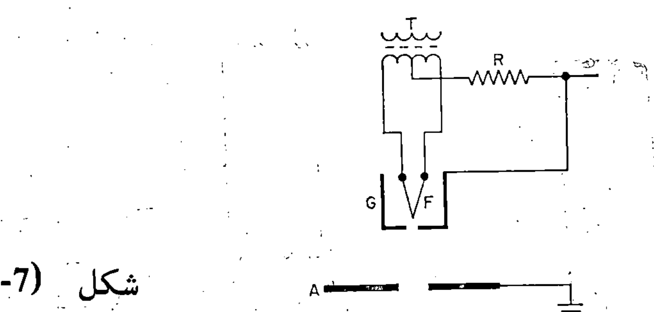
وهنا لا بد لنا ان نشرح بأختصار كامرة الحيود الالكتروني

ان اول الاجزاء في هذه الكاميرا هـــو مصـــدر الالكترونــــــــــات (illuminating System) ويمكن توضيح هذا الجزء في الشكـل

(1-7) ، حيث ان مصدر الالكترونات هو عبارة عن فتيلة على شكل حـــرف V تصنع عادة من مادة التنكستن tungstan وهي عبارة عن سلك قطـــره حوالـــي 100 ما يكرو متر (micrometer) علما ان $1\mu m = 10^{-6} m$

ويتم تسخين هذه الفتيلة بتيار كهربائي من محولة كهربائية مثل T في هذه الحالة ، ولهذه المحولة ملف ثانوي يمكن ان يتحمل فرق جهد كبير وحسب الحاجـــة مثل 100 كيلو فولت ويسلط عادةبين الفتيلة والأرض earth .

ومن الشكل يتضح لنا ان الفتيلة تكون حادة راسيا ، حيث ان لهذه الخاصية فائدة كبيرة وذلك لان الحرارة المفقودة من هذا الجزء تكون قليلة نسبيا مما يؤدي الى أرتفاع درجة حرارة هذا الجزء وبالتالي يتم انبعاث الالكترونات ، ويـــزداد انبعاث هذه الالكترونات مع ارتفاع درجة الحرارة (Thermoionic emission)



شكل (1-7)

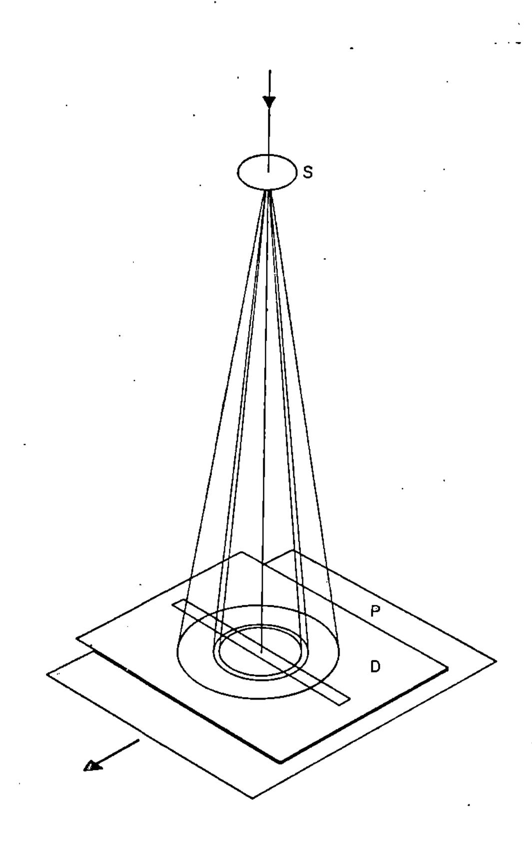
تكون الفتيلة عادة داخل قطب (Electrode) اسطوانـــــي الشكـــــل ومغلق grid (G) ، وفي هذه الاسطوانة فتحة قطرهـــا حوالي 1 ملم تكون في النهاية السفلى وتسمح بمرور الالكترونات (حزمة الالكترونات) ، وان هـــذه الاسطوانة تدعى (Wchnelt electrode)

جهدها الكهربائي ثابت مقداره حوالي (200 - 500) فولت وسالب بالنسبة للفتيلة وينتج عن ذلك مرور تيار من الالكترونات المنبعثة حراريا خلال المقاومـــــة (R).

وان الالكترونات الحرارية الخارجة من الفتحة G تجـذب نحو المصعد Anode والذي يكون جهده صفرا (earth) تسقط حزمة الالكترونات على النموذج المراد اختباره بواسطة عدسات كهرومغناطيسية (Electromagnatic Lenses)

والتي تشبه الى درجة كبيرة عملية التبئير (Focusing) للضوء بواسطة العدسات الزجاجية (glass Lenses).

وللمعلومات الكثيرة التي تبين لنا كيفية صنع هذه العدسات الكهرومغناطيسية وعملها يجب الرجوع الى المصـــدر Hawks والشكـــل رقم (2-7) بين لنا مسار الالكترونات تخطيطا خلال العد سات الكهرومغناطيسية الى



شكل (2-7)

النموذج وحيث نلاحظ ان هـذه العدسات تبئير (Focusing) الالكترونات بعد مرورهـا خلال النموذج ≤ على لوح فوتوغرافي (P) (Potographic plate) على هيئة حيودومن ثم يجري تسجيلها .

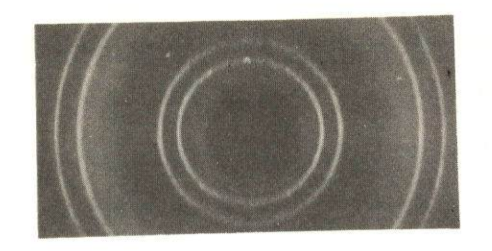
وسنأتي الى دراسة انواع الحيود من النماذج المختلفة وكيفية تفسيرها فيما بعد

ولا بد ان نشير الى ان جميع اجزاء الكاميرا (بما فيها مصدر الالكترونات والعدسات الكهرومغناطيسية واللوح الفوتوغرافي) توضع داخل اسطوانـــــة مصنوعـة عادة من مادة صلبة وتدام تحت الفراغ العالي نسبيا (High vacuum) ، وحيث تفرغ الاسطوانة في كل مرة بواسطة مضخات التفريغ الميكانيكية والزيتية وان مقـدار الفراغ (Vacuum) يتراوح بين $10^{-5} - 10^{-10}$ ملم زئبـق .

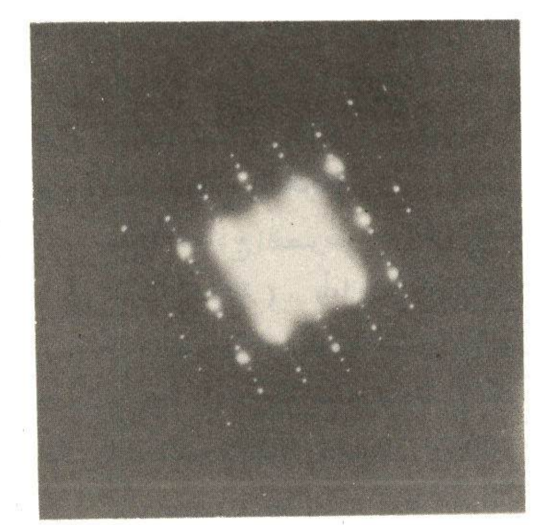
3-7 طبيعة النماذج المفحوصة

تكون النماذج المفصوصة عادة في الحالة الصلبة (وهناك كاميرات لفحص العينات في الحالة السائلة) . وأما ان تكون لنماذج بلورة احادية (Single Crystal) او متعددة البلورات او بحالـة مسحوق (Powder) وفي اية حالة يجب ان تكون النماذج رقيقة الى درجة تسمح لحزمة الالكترونات أختراقها . فمثلا في حالة استعمال الكترونات المعجلة بطاقة مقدارها 100 kv ويجب ان لا يتجاوز سمك النموذج اكثر مـن 1000 A° ، وكلما زادت طاقة الحزمة الالكترونية امكن استعمال نماذج اسمك والشكل رقم (3-7) يبين شكل نمط الحيود (diffraction pattern) من نموذج احادي البلورة

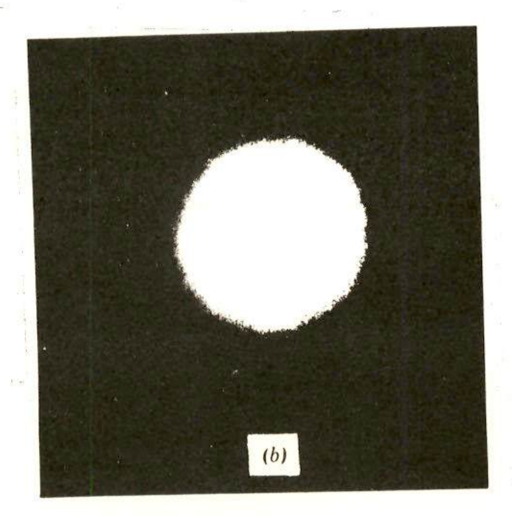
على اللوح الفوتوغرافي والشكل رقم (4-7) يمثل نمط حيود من المـادة متعددة البلورات (polycrystalline) اما الشكل رقم (5-7) فيمثل نمط الالكترونات من أنموذج عشوائي التركيب (Amorphous) وفي بعض الاحيان يدعى بالتركيب اللاتشكيلي



شكل (3-7)



شكل (4-7)



شكل (5-7)

4.7 (النظرية الحركية المجردة لحيود الالكترونات)
(Kinematic Theory of Electron Diffraction)

المقدمة .

في معالجتنا لحيود الالكترونات في هذا الفصل ، سنعتبر ان الالكترونات

السريعة تستطير Scattering وتحيد diffracted من نماذج احادية البلورة او متعددة البلورات ، وان هذه النظرية (النظرية الحركية) تعطي تفسيرا معقولا وصحيحا الى درجة كبيرة من الدقة اذا ما اجريت التجربة وفقا للفرضيات المبنية على اساس هذه النظرية .

حيث تستند هذه النظرية على فرض ان نسبة قليلة جدا من الالكترونات الساقطة تستطير من النموذج ، وهذا يعني فيزياويا ان الذرات المكونة للنموذج تستلم موجات ذات سعات متساوية ، كما يجب الا نعتبر تأثيرا لمستويات الذرية في البلورة (على فرض ان النموذج بلوري) في موجات الالكترونات عند اختراقها (اذا كان النموذج سميكا ، فالتأثير سيكون قليل السعة attenuation of incident beam وبناء على ما تقدم يمكن اعتبار شدة الموجات المستطيرة في الاتجاهات المختلفة تساوي شدة الموجة الاصلية الساقطة على النموذج ، مع الاخذ بنظر الاعتبار طور الموجات عند الجميع (Phase relationship) وهذا يعني ان قسما من الالكترونات الساقطة على النموذج يعاني استطارة والقسم الاخر لا يعاني استطارة unscattered

(والنوع الاخير يعني الالكترونات التي تخترق النموذج لا تعاني تغيرا في الاتجاه) .

في الحقيقة ، النظرية الحركية لحيود الالكترونات تهمل استطارة الالكترونات الى الخلف backscattered (بأتجاه الحزمة الساقطة) وان الحزمة المستطارة

يمكن ان تعاني استطارة مفردة تسمى single scattering او تعاني استطارة لاكثر من مرة وتسمى multiple scattering . وهذه الظاهرة تعالج بالتفصيل

بواسطة النظرية الديناميكية لحيود الالكترونات (Dynamical theory)

ومن الواضح ان النظرية الحركية لحيود الالكترونات تكون صحيحة وتزداد صحتها

كلما كانت الحزم المستطارة بأتجاهات مختلفة ضعيفة جدا مقارنة بالحزمة الاصلية كما مبينة في الشكل التالي .

نؤكد هنا ، ان نجاح او فشل هذه النظرية في تفسير النتائج العملية تعتمد كليا على ظروف التجربة ، فأذا فرضنا ان سمك النموذج في حدود $1000\ A^0$ والجهد المعجل Accelerating Voltage بحدود 100 kv فستكون للنظرية الحركية القدرة على تفسير النتائج وخصوصا من المواد المكونة من ذرات خفيفة **light atoms** (المواد ذات العدد الذري الوطئ Low atomic number) كالمواد العضوية

لفهم وتفسير الحيود الالكتروني للمواد بصورة صحيحة ودقيقة لا بد من فهم عملية الاستطارة وخصوصا الاستطارة المرنة التي لها الدور الكبير في حمل المعلومات من النموذج ، حيث ان تركيز شدة الالكترونات في اتجاهات معينة هي نتيجة للاستطارة المرنة (Bragg reflections) ، بينما الشدة التي تسهم في الخلفية وتؤدي الى اضعاف التركيزات نتيجة للاستطارة غير المرنة .

تعني الاستطارة المرنة هو انه عند مرور الالكترونات السريعة خلال النموذج وقريبا جدا من الذرات يحدث تفاعل كولومبي Coloumbic interaction تسبب بأن الالكترونات تغير اتجاهها الاصلي الى اتجاهات محدودة ، وبعبارة اخرى بزوايا محدودة دون ان نفقد من طاقتها ، وان الالكترونات المستطارة بهذه الصورة تحمل معلومات دقيقة عن الذرات وبناء النموذج بصورة عامة ، بينما الالكترونات المستطارة بصورة غير مرنة تكون قد تفاعلت مع المجال الكولومبي للالكترونات المدارية (orbital electrons) لذرات النموذج وتنقل اليها جزء من طاقتها وتستطير بزوايا عشوائية واصغر من الزوايا للاستطارة المرنة .

وتكون الالكترونات المستطارة بهذه الصورة (غير المرنة) لا تحمل معلومات دقيقة عن بناء المادة المفحوصة وتسهم بشكل سلبي في تكوين الحيود الالكتروني وبعد هذه المقدمة لألية الاستطارة وانواعها سنأتي الى تفصيلها .

5.7 استطارة الالكترونات من ذرة احادية :

Scattering of electron's by single atom

لنبدأ بأستطارة موجة او حزمة الكترونية مستوية من قبل ذرة واحـــدة ونفرض ان الموجة المتقدمة بأتجاه الاحداثي z يمكن ان يعبر عنها بالدالــة التالية e^{ikz}

، وحيث $K = \frac{2\pi}{\lambda}$

يعرف بالعدد الموجي wave number وλ الطول الموجي لحزمة الالكترونات

وان الذي يحدث هو استطارة الحزمة الساقطة على هيئة موجه كروية والتي يمكـــن تمثيلها بالدالة التالية .

$$\frac{e^{ikr}}{r} F'(\sin 2\theta/\lambda) \qquad (4\text{-}7)$$

حيث r هو المتجه المرسوم بين نواة الذرة وجبهة الموجة ، 2θ هي الزاوية بين اتجاه الموجه الاصلي واتجاه استطارة الموجة وتدعى بزاوية براك .

Bragg angle نسبة الى العالم Bragg

و $F'(\sin 2\theta/\lambda)$ ويدعى بعامل الأستطارة الذرية للالكترون ولـــه وحدات الطول وهو في حدود $100\ pm$

ومن السهولة بمكان ان نبين ان :

$$F'(\sin 2\theta/\lambda) = \frac{me^2}{8\pi h^2 \varepsilon_0} \frac{\lambda^2 (Z-f)}{\sin^2\theta} \qquad (5\text{-}7)$$

حيث ان Z هو العدد الذري و f هو عامل استطارة الذرة للاشعة السينية

و ϵ_0 هي معامل النفاذية للفراغ .

ولاشتقاق المعادلة رقم (5-7) ننصح الرجوع الى المصـــدر Mott and Massey

ولا بد ان نذكر هنا ان عامل الاستطارة الذرية للالكترونات اكبر بكثير ، ولنفس الذرة

من عامـــل الاستطارة لموجة الاشعة السينية ، وذلك كما يلي : -

$$\frac{F(\sin 2\theta/\lambda)}{f} \simeq 10^{4}$$

وجدير بالذكر ان قيمة F لجميع الذرات تقريبا مدونة في عدة مصادر وخاصة

تلك التي تعني بدراسة علم البلورات التركيبي بواسطة الاشعة السينية

(X - ray Crystallograaphy) وكمصدر نموذجي

انظر الى Ibers and Vainshtein وأكدنا هنا عامل الاستطارة

نظرا لاهميته في تعينه البناء الصحيح للبلورة وكذلـــك حساب ترتيب الذرات فـــي

وحدة البناء البلوري وطول الاواصر بين الذرات (bonds) وغير ذلك مـــن

المعلومات التي يمكن الحصول عليها من شدة نقاط اوخطوط الحيــــود.

ولا بد ان نعمم الحيود من الذرات الاحادية الى الحيود من البلورة .

6.7 حيود الالكترونات من شبيكة البلورة :-

Diffraction by crystal - Lattice

هنا سنعني بالحيود من بلورة كاملة والتي هي كبيرة نسبيا الى درجة يمكن اعتبارها ما لا نهاية في الكبر لان الحجم المحدد للبلورة له تأثير في تفسير انماط الحيود كما سنأتي بمناقشة ذلك فيما بعد .

يمكن ان نصف البلورة بثلاثة متجهات غير متطابقة هي a , b , c والخلية التي ترسم بهذه المتجهات هي وحدة البناء البلوري بالطبع (unit cell) ان المتجه الذي يصف ذرة ما في البلورة يمكن ان يكتب بالشكل التالي :-

$$R = (m_1 + i_1)a + (m_2 + i_2)b + (m_3 + i_3)c \qquad (6\text{-}7)$$

حيث m_1 , m_2 , m_3 هي اعداد صحيحة integers

$i_1 \quad i_2 \quad i_3$ هي كسور تامة

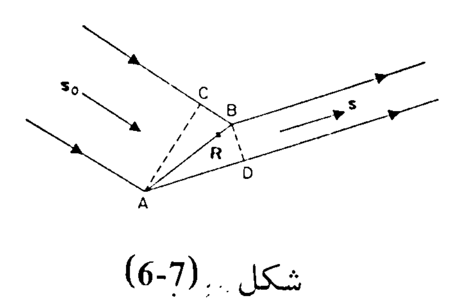
من اهم الخواص الاساسية للبلورة هي انها بناء متكون نتيجة لتكرار وحدة البناء نفسها بصورة مستمرة وبالاتجاهات الثلاثة بصورة لا نهائية .

(Repeating structure) وهذا يعني انه اذا اعتبرنا ان هناك ذرة موجودة في موقع يمكن وصفها بواسطة تركيبية معينة من الاعداد(m ' s)والكسور ($i's$)فيجب ان تكون هناك ذرة متشابهة موجودة في كل موقع يمكن وصفه بنفس القيم($i's$) وكل تركيبه ممكنة من الاعداد m_1 , m_2 , m_3 وبهذا

نشخص وحدة البناء بواسطة ثلاثة اعداد خاصة (m_1 , m_2 , m_3) وتحتوي على عدد (M)من الذرات (ليس من الضروري ان تكون كلها من نوع

واحد) المتواجدة في مواقع يمكن تمييزها بواسطة قيم مختلفة ل ($i's$). وعلى سبيل المثال ، هناك عدد كبير من المعادن تتبلور على هيئة Fcc (Face Centered Cubic) التي تحتوي وحدة بنائها على اربع ذرات ومتواجدة في الواقع

لنفرض في الشكل (7 – 6) ان A هي نقطة الاصل (original point)



شكل (6-7)

وموقع لذرة معينة و B هي اية ذرة اخرى في الشبيكة والتي توصف بالنسبة ل A بمتجه (R) لنفرض ان s و s_0 هما متجه الوحدة لمتجهين بأتجاه الموجة الساقطة والمستطيرة على التوالي ، وبذلك يكون فرق المسار للموجات المستطارة من A و B هو

$$CB - AD = RS_0 - RS$$

وعليه يكون فرق الطور للموجتين المستطيرتين من A و B هو

$$\Phi = \frac{-2\pi}{\lambda} R (S - S_0) \qquad (7\text{-}7)$$

ولتسهيل الحسابات مستقبلا يكون من الافضل وصف فرق الطور بدلالة الحيز المقلوب (Reciprocal lattice) او الشبيكة في الحيز المقلوب .

$$i_1, i_2, i_3 = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \end{matrix}$$

(السبب لذلك وجيه جدا لان الحيود ما هو الا صورة للنموذج في الحيزالمقلوب)
والتي توصف بالمتجهات b_1, b_2, b_3 والعلاقة بين متجهــــات الحيز الحقيقــي
والحيز المقلوب هـــــي .

$$a_i , b_j = 0 \qquad if \quad i \neq j$$
$$= 1 \qquad if \quad i = j \qquad (8\text{-}7)$$

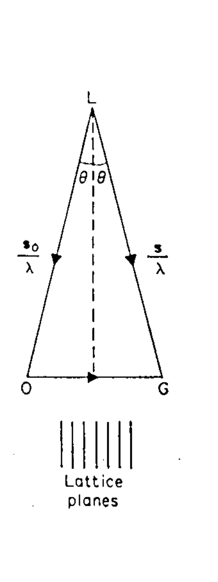
عندما تصف المتجهات (a, b, c) وحدة بناء مكعب الشكل تكــــــون
(b_1 ، b_2 ، b_3) متطابقة معها وتكون كمية احداهما مقلوب الاخرى ، وهــــــذا
يعني ان

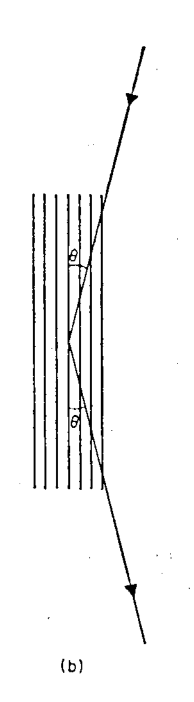
$$|a| = \frac{1}{b_1}$$

ولناخذ حالة عامة لغرض توضيح العلاقة بين المتجهات في الحيزين ، ولننظر
الى الشكل رقم (7 - 7) والذي فيه المتجه b_1 على المستويين
ABCD ، **EFGH** ، حيث

$$b_1 . b = b_1 . C = 0$$

وتكون كمية b_1 تساوي مقلوب المسافة العمودية بين هذين المستويين وبنفس
الطريقة يمكن وصف b_2 و b_3. ومن المعلوم انه عند مرور اية ثلاثــة ازواج متوازية
خلال الشبيكة في الحيز يتكون متوازي المستطيلات ، وهذا المثال حالة
خاصة اذاً من القاعدة العامة .





شكل (7-7)

ولنعل بالكلمات ان القاعدة العامة هي انه عند مرور المستويات المتوازي خـــلال نقاط الشبيكة في الحيز فيكون بالامكان رسم متجهات عمودية على هذه المستويات والتي هي المسافة العمودية بين المستويات ذات العلاقة بالمتجهات ومنها بأنها تكون نقاط الشبيكة في الحيز المقلوب . (Reciprocal lattice)

وهذه هي النقطة المهمة التي اردنا ان نؤكد ها نظرا لاهميتها في فهم وتحليل نمط الحيود . من الضروري تعريف متجه في الحيز المقلوب من تركيبه خطية للمتجهـــات (b_1، b_2، b_3) كما يلـــي

$$\bar{g} = \frac{S - S_0}{\lambda} = g_1 b_1 + g_2 b_2 + g_3 b_3 \qquad (8\text{-}7)$$

حيث (g_1، g_2، g_3) هي ثلاث كميات غير اتجاهية و ر بض المعادلـة (8-7) بالمعادلة (8-7) يمكن كتابة المعادلة التاليـــة

$$\Phi = -2\pi \left[(m_1 + i_1) g_1 + (m_2 + i_2) g_2 + (m_3 + i_3) g_3 \ldots\ldots \right] \qquad (9\text{-}7)$$

ومن المعادلة رقم (4-7) و (10-7) يمكن القول انه على مسافة بعيدة جدا من نقطة الاصل ، تكون الموجه المستطيرة من B هي $-\frac{e^{iK.r} f_i e^{i\Phi}}{r}$

وبذلك تكون الموجات المستطيرة من كافة الذرات في البلورة هي

$$\psi = -\frac{e^{iKr}}{r} \sum_m \sum_i f_i \exp[-2\pi i\{(m_1+i_1)g_1 + (m_2+i_2)g_2 + (m_3+i_3)g_3\}] \quad (11\text{-}7)$$

حيث (fi) تمثل الكمية (f) وتحسب للذرة (ith atom) ويكون الجمع شاملا لجميع الذرات (μ) التي فرضت مسبقا في وحدة البناء **unit cell**

والجمع(m)يكون شاملا لجميع وحدات البناء في البلورة (البلورة تتكون من عدد كبير من وحدات البناء) .

$$\psi = -\frac{e^{iK.r}}{r} EG \quad (11\text{-}7)$$

حيث ان : —

$$E = \sum_i f_i \exp[-2\pi i\{(i_1 g_1 + i_2 g_2 + i_3 g_3)\}] \quad (12\text{-}7)$$

وكذلك

$$G = \sum_m \exp[-2\pi i(m_1 g_1 + m_2 g_2 + m_3 g_3)] \quad (13\text{-}7)$$

علما ان E هو عامل التركيب البنائي (structure fuctor) ويعتمد على توزيع المادة (الذرات او الجزئيات) في وحدة البناء البلوري (هناك بعض الكتب ترمز له بالحرف F وخصوصا في حالة حيــود الاشعة السينية) .

و G هو عامل ب بناء السبيكة البلورية (Lattice factor) ويعتمد على نوع الشبيكة ، وبالنسبة للبلورة ذات الحجم المحدد ، يعتمد على شكل وحجم الشبيكة (Lattice) والشي المهم في الموضوع والذي يسجل فــي نمط الحيود هو الشدة (Intensity) وان شدة الموجة المستطيرة هي : -

$$\psi\psi^{*} = \frac{1}{r^{2}} |E|^{2}|G|^{2} \qquad (14\text{-}7)$$

حيث تمت عملية الضرب بالمرافــق للحصول على المعادلـــة أعلاه ، لنعــد الان كتابه $/G/^{2}$

$$|G|^{2} = \sum\sum \exp\left[-2\pi i\{(m_1-m_1')g_1 + (m_2-m_2')g_2 + (m_3-m_3')g_3\}\right] \qquad (15\text{-}7)$$

ولهذه المعادلة قيمة عظمى محددة (sharp maximum) عندما يكون لكل حـد فيها نفس الطور ، وبعبارة اخرى عندما تكون قيم (g) اعداد كاملة (integers) سبق وان عرفنا (g) بالشكل التالي : -

$$g = \frac{(S-S_0)}{\lambda}$$

وهو متجـه مكافئ لمنطقة في الحيز المطلوب

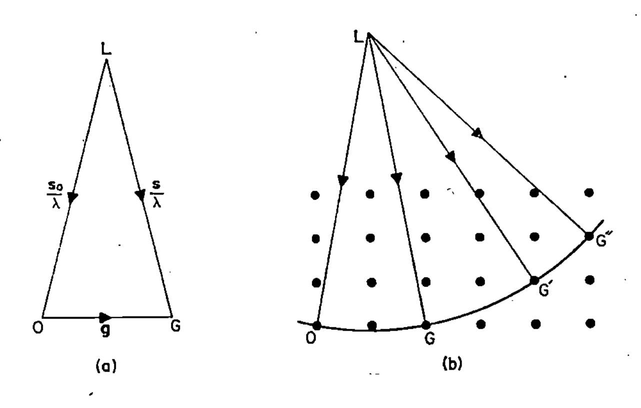
(position vector "g" of apoint of the reciprocal Lattice)

وقد ترجم العالم Ewald هذه النتيجة الى واقع هندسي كما في الشكل التالي (7 - 8)

في الشكل (8-7)[A] في نقطة الاصل o هي نقطة في شبيكة الحيـز المقلوب و G هي نقطة في شبيكة الحيز المقلوب ذات متجه مكاني .

$$g = g_1 b_1 + g_2 b_2 + g_3 b_3$$

كما يمكن ملاحظة العلاقـة الهندسية بين المتجهات g , $\frac{S}{\lambda}$, $\frac{S_o}{\lambda}$ في نفس الشكل .



شكل (8-7)

يجب ان تتذكر هنا ان So و S هما متجه الوحدة (unit vectors) وبذلك ترسم كرة (sphere) مركزها في (L) ونصف قطرها هو ($\frac{1}{\lambda}$) ومن النقطة G يكون بالامكان ايجاد اتجاه حيود حزم الالكترونات كما في الشكل (8-7)[B]

ويمكن رسم الشكل (8-7)[B] من النتيجـة العملية (اللـوح الفوتوغرافي لنمط الحيـود) با الطريقة التاليــــــة : - كما في الشكل (9-7)

ارسم (OL) مـن نفطة الاصل بأتجاه معاكس للحزم الساقطة على النمـوذج وبطول ($\frac{1}{\lambda}$) واجعل L مركزا لنصف كرة تمـر من النقطة O واذا ما مرت الكـرة في النقاط مثل G (في الشكل 9-7 مثلا) فيكون LG, LG, LG, LG

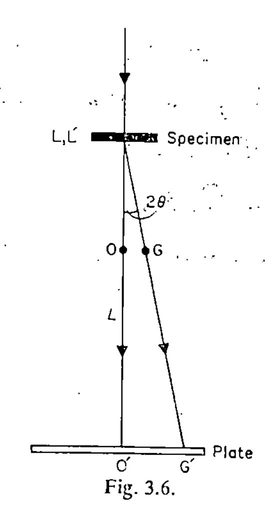


Fig. 3.6.

شكل (9-7)

هما اتجاهات حيود الحزم (Diffracted beams) وتدعى (L) في بعض المصادر بنقطة لاوى (Laue Point)، والكرة تدعى بكـــــرة الانعكـــاس (sphere of reflection)

ماتقدمينطبق ايضـا فـي حالـة حيـود الاشعة السينية والنيوترونات وجميع الجسميات الاخرى .

الشكل 7-7 يبين نفس العلاقة بين المتجهات g و $\frac{s}{\lambda}$ و $\frac{So}{\lambda}$ التي يبينها الشكل(7-8)

وبما ان المتجه (g)في شبيكة الحيز المقلوب هو عمودي على مجموعة مـن المستويات في شبيكة الحيز ، هذه المستويات تحوي ذرات البلورة ، بالطبع فلذلك يكون الشكل (7-7) معبرا عن ذلك .

يمكننا في هذا الشكل ان نعتبر المستويات وكأنها تعكس الموجات الساقطة بزاوية عرضية(glancing angle) هي θ ، ولنتذكر ما سبق هو ان كمية (g) تساوي مقلوب المسافات العمودية بين المستويات (d) (interplaner distance)الذرية في شبيكة الحيز (space lattice) وبتلك نستنتج

$$\sin\theta = \frac{OG}{2OL} = \frac{1/d}{2/\lambda}$$

$$2d\sin\theta = \lambda$$

وهذه المعادلة ماهي الا معادلة براك(Bragg)والتي سبق وان اشتقت من مفهوم الحيز الحقيقي ، وهذا يبين العلاقة بين الحيزيين .

ونظرا لاستعمال فرق جهد عالي لتعجيل الالكترونات في تجارب الحيود وبعبارة اخرى تكون (λ) حوالي $\frac{1}{100}$ من معدل المسافات البينية للمستويات الذرية (d) ، لذلك يكون نصف قطر الكرة في الشكل (7-7) اكبر بمائة مرة من المسافات بين نقاط الشبيكة من الحيز المقلوب .

وهذا يؤدي الى جعل نمط الحيود على اللوح الفوتوغرافي مستويا (plane) الى درجة كبيرة ، ولنوضح هذه الفكرة للاغراض العمليه بالشكل رقم (7-9) حيث L تمثل المسافة بين النموذج واللوح الفوتوغرافي ، وواضح في الشكل ان الحزمة غير المستطارة تصطدم باللوح في نقطة O والحزمة المستطيرة في النقطة G ، وبعد ان نسجل نمط الحيود فوتوغرافيا وكذلك بعد عملية الاظهار (Development) تتم القياسات بالاستعانة التي سنشتقها كما يلي في الشكل $\tan 2\theta = \frac{R}{L}$

لزاوية حيود صغيرة جدا فأن $2\theta = \tan 2\theta$ ، $2\theta = \frac{R}{L}$

ومن قانون براك اذاً $2d\sin\theta = \lambda$

وكذلك للزاوية الصغيرة فأن $\sin\theta \simeq \theta$

$$\theta = \frac{\lambda}{2d}$$

وبالتعويض عن $\frac{R}{2L} = \theta$ نحصل على $d = \frac{L\lambda}{R}$

وكما هو معروف فأن (d) تمثل المسافات البينية للمستويات الذرية في البلورة ،

في الحيز الاعتيادى و R تمثل المسافة بين نقطة الاصل وأية نقط اخرى على اللوح الفوتوغرافي المراد دراستها و (L) ندعى بثابت الكاميرا (Camera constant) تعين تحريبا (التعبيـر) باستعمال نموذج قياس ، وبهذه الطريقة يمكن قياس (d) لكل بقع أو خيوط الحيود .

او خطوط الحيود على اللوح الفوتوغرافي ، حيث نقصد بنقاط نمط الحيـود ذلك النمط الذي نحصل عليه لبلورة احادية كما في الشكل (3-7)

واما الخطوط فذلك النمط الذي نحصل عليه من نموذج متعدد البلورات كما في الشكل (4-7) والذي هو عبارة عن مقطع عرضي لعدة كرات متداخلة . ويجدر الذكر هنا ان كل نقطة او خط يمثل مجموعة متوازية من المستويات الذرية في البلورة ذات مسافات بينية تتناقص كلما ابتعدنا عن المركز ، وبعبارة اخرى كـــل ماكبرت زاوية الحيـود (2θ) .

لا يصطلح على النقاط او الخيوط القريبة من المركز بالحيود ذات الزوايا الصغيرة (Low angle diffraction) وتلك البعيدة بالحيـــود ذات الزاويـــة الكبيرة (High angle diffraction) ولا بـد ان نذكر هنا ان شدة النقاط او الخطوط تتضاءل كلما كبرت زاوية الحيود الى ان تصل الى الصفر وقد سبق وان ناقشنا ذلك منفصلا تحت بند تأثير الاهتزازات الحرارية للذرات على شدة الحيود ، ولا بد ان نؤكد ان من تركيب وشكل نمط الحيود وعلاقة النقاط او الخطوط ببعضها ، يستنتج البناء البلوري وتحدد المجموعة التي اليها تعود وكذلك المسافات بين المستويات الذرية وفي اتجاهات بلورية متعددة (Crystallographic information)

اما من شدة (intensity) نقاط الحيود او الخطوط فيستنتج كثير من المعلومات عن طبيعة الذرات الموجودة ، وكيفية توزيعها والبناء على المستوى الذري ، وهل البناء تام ام هناك عيوب (defects) مثل الخلع (Dislocation) او العيوب النقطية (point defects) وغير ذلك من العيوب .

كما يستنتج من الشدة (intensity) ايضا الترتيب الهندسي للجزيئات او الذرات في وحدةالبناء البلوري وذلك باستعمال الحاسبة الالكترونية ولنعد الان لمناقشة المعادلة (12-7) لكونها تمثل شدة حيود الحزمة الالكترونية لقد فرضنا في كل ما تقدم بان الحزمة الالكترونية لها سعة مقدارها وحدة واحدة (Unite amplitude) وهذا يعني انه هناك الكترونا واحدا كمعدل لوحدة الحجوم في الحزمة الالكترونية ، واذا فرضنا ان (V) هي سرعة الالكترونات يكون U عدد الالكترونات التي تمر في وحدة الزمـن نستنتج من المعادلة (9-7) ان عدد الالكترونات في الحزمة المحادة التي تنفذ خلال مساحة (dS) عمودية على اتجاه الحزمة على بعد مسافة (r) من نقطة الاصل في البلورة يكون عدد الالكترونات :

$$V\psi\psi^{*}dS = \frac{U}{r^{2}}E^{2}G^{2}dS \qquad (16\text{-}7)$$

لكن ـــ هي زاوية مجسمة (Solid angle) معينة على البلورة من dS لذلك يكون عدد الالكترونات المستطارة الى وحدة الزاوية المجسمة $\frac{r\psi\psi^{*}dS}{dS/r^{2}}$ ((Unite solid angle)) في وحـــدة الزمـــن هي $UE^2\ G^2$

فنحصل على

$$\delta = \frac{\text{عدد الالكترونات المحادة الى وحدة الزاوية المجسمة في وحدة الزمن}}{\text{عدد الالكترونات في الحزمة الساقطة المارة خلال وحدة المساحات في وحدة الزمن}}$$

ومن الواضح ان هذه الكمية لها وحدات المساحات (dimension of area)

$$\delta = E^2\ G^2$$

وهي تمثل مقطع الاستطارة البلورية cross Section of the Crystal Scattering) وهذه الكمية ذات اهمية كبيرة في الخاسبات وحصوصا تلك التي تخص تعين التفاصيل الدقيقة لوحدة البناء .

فيماتقدم اشتقت المعادلات على اساس بعض الفرضيات المثالية ، مثل الحزمة الالكترونيه الساقطة على النموذج متوازية تماما وان جميع الالكترونات في الحزمة لها نفس الطاقة (اي نفس طول الموحه) ، كما وكانت الفرضية المهمة أن البلورة خالية من العيوب مثل الخلع وغيرها ، اي ان البناء مثالي ، ونحن نعرف بأن لا صحة لاي من هذه الفرضيات عمليا ، فالحزم الالكترونية ليست متوازية الى درجة الكمـــال وهذا يعني ان So ليست ذات قيمة فريدة وانما ذات قيم موزعة احصائيا ضمن مخروط ضيق (narrow Cone) كما ان جميع الالكترونات ليس لها نفس الطاقة وانما هناك توزيع احصائي للطاقة (Energy disitribution) اي هناك مدى من طول الموجات (λ) .

وفي الاجهزة الحديثة تكون فرق الطاقة للالكترونات ذات الطاقة الحركية 100 kV حوالي 2 eV كميه قليلة جدا ولكن مع ذلك لها بعض التأثيرات التي تأثر في بعض الدراسات الدقيقة . حيث وجود مدى من اطوال الموجات (Range of wave length) يعني ان نصف قطركرة الانعكاس (sphere of reflection) ليست ذات قيمة فريدة وأنما ذات قيم متعددة (تذكر علاقة طول الموجة بقطر كرة الانعكاس) .

والبلورة ليست مثالية في تركيبها ، فتكون اما جهدة بصورة مرنة مثلا او فيها صفوف من الخلع (rows of dislocations) ، وهذا يظهر تأثيره في نمط الحيود بشكل وكأن البلورة الاحادية متكونة من عدة بلورات احادية تختلف عن بعضها قليلا في الوضع الهندسي بالنسبة للحزمة الالكترونية وتأثير هذه العوامل مجتمعة تؤثر في عدم وضوح المتجه $\frac{S-S_o}{\lambda}$ بشكل حاد بالنسبة للشبيكة البلوريـــــة فـــي الحيز المقلوب .

(The vector $\frac{S - S_o}{\lambda}$ is not sharply defined with respect to the reciprocal lattice) .

وانما موزع على حجم صغير من الشبيكة في كثير من الحالات يكون هذا المتجه موزعا في حجم تكون فيه الداله G ذات قيمة صغيرة جدا وتختلف قليلا عن الصفر وهذا يعني ان مقطع الاستطارة للبلورة لها معدل قيمة (σ^2) تعتمـــــد

على قيمة G2 ولذلك نكتــب

$$\bar{\delta} = E^2 \frac{_w\int G^2 dw}{w} \qquad (17\text{-}7)$$

حيث يجري التكامل في حدود حجم شبيكة الحيز المقلوب الذي يكون محتلا من قبل نهايات المتجهات ($\frac{S - S_o}{\lambda}$) في الحقيقة (G2) تحتل حيزا صغيرا جدا من الشبيكة ، وبذلك لا يكون هناك فرق في ان نكامل على الحجم (w) الحجم الكلى (Ω) لوحده البناء في الشبيكه (Unit cell in the lattice)

يمكننا ان نكتب

$$\bar{\delta} = E^2 \frac{_\Omega\int G^2 dw}{w}$$

ولاحظ إننا غيرنا حدود التكامل يشمل حجم وحدة البناء نظرا لسهولة التكامل ومعرفتنا لحجم وحدة البناء .

وبالا ستفادة من المعادله (15-7) فيمكن كتابة المعادله التاليه

$$_\Omega\int G^2 dw = \sum_m \sum_{m'} \iiint exp[-2\pi i\{(m_1 - m'_1)\delta_1 + (m_2 - m'_2)\delta_2 + (m_3 - m_3)\delta_3\}](b_1 d\delta_1 \times b_2 d\delta_2) \cdot b_3 d\delta_3$$

$$= \Omega \sum_m \sum_{m'} \iiint exp\{-2\pi i[(m_1 - m'_1)\delta_1 + (m_2 - m'_2)\delta_2 + (m_3 - m'_3)\delta_3]\} d\delta_1 d\delta_2 d\delta_3$$

حيث ان

$(b_1 \times b_2) \cdot b_3 = \Omega$ وهي حجم وحدة البناء في الحيز المقلوب

(Volume of unit cell of the reciprocal lattice)

ان مدى التكامل لكل من (G) هو(1) والقيمه الوحيده لكل تكامل التي لا تساوى صفرا هي

$$m_1 = m_1' \quad , \quad m_2 = m_2' \quad , \quad m_3 = m_3'$$

لهذه الظروف يكون التكامل (1) وبذلك نحصل على :

$$\Omega \int G^2 dw = \Omega \sum_m \qquad (18-7)$$

عدد الحدود في هذا الجمع (summation) هو عدد مجاميع (sets)

الاعداد m_1 , m_2 , m_3 التي تخص وحدات البناء (Unit cells) المختلفه في البلوره ، ولذلك فأنها تساوى العدد الكلي لوحدات البناء في البلوره N. بعبارة اخرى

$$\bar{\delta} = \frac{\Omega}{w} NE^2 \qquad (19-7)$$

والكمية $\frac{\Omega}{w}$ تعتمد بشكل كبيرا جدا على ظروف التجربه ، مثل أستقرارية

الجهد المعجل للالكترونات (ripple in the high Voltage Supply)

وعلى درجة توازي الحزم الالكترونية ، وعلى النموذج المفحوص ايضا ، وننصح القارى للالمام بتأثير هذه العوامل بصوره مفصله وذلك بالرجوع الى Rymer وجدير بالتأكيد ، اننا نرى ان شدة الحيود لاية نقطة او خط في نمط الحيود يتناسب مع (E^2) ، والكمية E^2 تأخذ قيمة بسيطة عندما تكون جميع الذرات في وحدة البناء في نفس النوع .

ولتأخذ الان إمثلة عمليه لحساب عامل التركيب البنائـــــــــــــي (structure factor) ، وعلى سبيل المثال ناخذ (BCC) وكما ذكرنا

سابقا هناك اربع ذرات في وحدة البناء هذه،هي :-

$$0 , 0 , 0$$
$$0 , \frac{1}{2} , 0$$
$$\frac{1}{2} , 0 , \frac{1}{2}$$
$$\frac{1}{2} , \frac{1}{2} , \frac{1}{2}$$

وبتعويض هذه القيم في المعادله (13) نحصل على

$$E = f\left[1+\exp\{2\pi i(g_1+g_2)\} + \exp\{2\pi i(g_2+g_3)\} + \exp\{2\pi i(g_3+g_1)\}\right] \qquad (20\text{-}7)$$

وقبل مناقشة هذه المعادله ، اليك بعض العلاقات الرياضيه المغيره

$$e^{\pi i} = e^{3\pi i} = e^{5\pi i} = -1$$
$$e^{2\pi i} = e^{4\pi i} = e^{6\pi i} = +1$$

وبصوره عامة $e^{n\pi i} = (-1)^n \quad , \qquad n = 1, 2, 3, 4, 5, \ldots$

ونرجع لمناقشة المعادله (19-7) ، وبما ان ($g_1 \cdot g_2 \cdot g_3$) هي اعداد كامله فستكون الحدود في المعادله اما (+ 1) او (- 1) تعتمد على حاصل جمع الـ(g s) داخل القوسين هل يكون عددا زوجيا او فرد يه .

وبذلك تبرز حالتان

1- (g,S) جميعها زوجية او فرديه

2- (g,S) خليط من الاعداد الزوجيه والفرديه . في الحاله الاولى ، الحدود الثلاثه الاخيرة في المعادله (19-7) تكون (+ 1)

اى ان $E = 4f$

وشدة الحيود تتناسب مع $I \propto 16 f^2$

وبعبارة اخرى هناك نقطة حيود او خط حيود يمكن تسجيلها ذات شدة نسبية معينـــه .

وفي الحاله الثانيه هناك حدان من الحدود الثلاثه الاخيره هي (-1) والحدود والحد الاخر هو ($+1$) ، ولذلك يكون $E = 0$ ولذا تكون شدة الحيود صفر ، اى لا نسجل اى معلومات من هذه المستويات ——— (missing) كما هو واضح من مناقشتنا السابقهان كل نقطة حيود او خط حيود تعين (specified) بواسطة ثلاثة اعداد $(g_1 . g_2 . g_3)$ ، وهذه الاعداد (كامله) تعرف باعداد لاوى (Laue indices) وهذه هي نفسها او مطابقه لاعداد او دلائل ميلر (Miller indices) المستعمله في علم البلوره (crystallography) التي سبق شرحها وهي التي تعين اتجاه المستويات الذريه في البلوره التي ساهمت في تكوين نقطة او خط الحيود . ولابد ان نذكرهنا ، أننا قبل هذه الحسابات في فصول حيود الاشعه السينية ، وذلك لبيان التطابق في الحالتين مع اختلاف القيم

عمليا تقاس الشده (كثافة الحيود) (I) بواسطة جهاز يدعى المايكرود ينسيتومير (Microdeasitometer) ، ومن ذلك يحسب

عامل التركيب البنائي ، كما يحسب نظريا ايضا لغرض التصحيح والتأكد وللتعرف على كيفية قياس الشده في حالات متعدده ننصح القارئ بالرجوع الى (Rymer) كما يعتبر كتاب Andrews etal من المصادر المبهمه من الناحيه العمليه في حيود الا لكترونات .

ان كل الذي تقدم ضمن النظريه الحركيه(Kinematice) لحيود الالكترونات ، حيث فرضنا ان استطارة الالكترونات ضعيفه جدا وان سمك النموذج رقيق — الخ ، ولكن في الظروف العمليه لا يمكن ان تستخدم كل هذه الفرضيات لذلك — يجب ان نفرض كيف نجرى الحسابات على الاقل للتأكد من اننا في حدود النظرية الحركية وخارج قوانين النظرية الداينميكيه والتي لها قوانينها الخاصه ، وان الفاصل بين قوانيز النظريتين يدعى بمسافه الامتصاص (Extinction distance) (de) لان النظريه الحركيه تفرض عدم وجود امتصاص للحزمه الالكترونية) أثناء إختراقها البلوره وهذا عكس قوانين النظريه الدانيميكيه

لذلك يجب ان نفرض المسافه التي تسيرها حزمه الالكترونات داخل النموذج (السمك) قبل ان تبدأ عملية الامتصاص وهذه المسافه كما ذكرنا هي (de) وطبعا هذه المسافه تعتمد على عدة عوامل منها طبيعه النموذج (الذرات المكونه لها) . وطاقه الالكترونات الساقطه على النموذج ، كما تختلف هذه المسافه في حالة استعمال الاشعه السينيه (x - ray) او حزم النيوترونات (neutrons beam) في تجارب الحيودوبصورة عامه يمكن حساب هذه المسافه من المعادله التاليه .

$$de = \frac{\pi \Omega \cos\theta}{\lambda E(hkl)} \qquad (21\text{-}7)$$

حيث Ω هي حجم وحدة البناء البلورى (Volume of unit cell) و θ هي زاوية الحيود و λ هي الطول الموجى E هو عامل التركيب البنائي (structure factor) لنقطة الحيود او خط الحيود ذات دلائل ميلر (hkl) . ولنأخذ مثلا عمليا ودلك بحساب (de) لنقطة الحيود (hkl = 111) في معدن الالمنيوم فعند تعويض القيم في المعادله (20-7) نحصل على $de = 200\ \mathring{A}$ عند استعمال حزمة الالكترونات ذات الطاقه 100 kV (الجهد المعجل هو 100 كيلو فولت $de = 2 \times 10^{-4}$ cm عند استعمال الاشعةالسينيه التي طول موجتها هو 1 A0 (انكستروم واحد) وكذلك فان $de = 6 \times 10^{-3}$ cm لحزمة النيوترونات ذات طول موجه ايضا ومن هذا المثال يظهر جليا ان ظاهرة الامتصاص لا يمكن اهمالها في تجارب حيود الالكترونات (طبعا الى دقة استخلاص المعلومات) الا اذا استعملنا نماذج غاية في الدقه ، وعند عدم امكان الحصول على مثل هذه النماذج الرقيقه في بعض المعادن والسبائك فيجب ان تلجأ الى القوانين الدينميكيه للحيود ، والتي هي خارج نطاق هذا الكتاب ، والتي يمكن دراستها بالتفصيل في المصدر Hirsch etal

7-7 تفسيرات نمط الحيود الالكتروني :

ابسط المعلومات التي يمكن استخلاصها من نمط الحيود الالكتروني للنماذج البلوريه هي تعين البناء البلورى (determination of crystal lattice)

ولنفرض لدينا نمط حيود الكتروني من نموذج ذات البلورات المتعدده (Polycrystulline) (اكثر المعادن والسبائك المستعمله في الصناعه التكنولوجية هي من هذا النوع) عندما تكون البلورات (crystallites) بترتيب عشوائي بالنسبه لبعضها ، سنحصل على نمط للحيود ذات دوائر مركزيه (Ring pattern)

وان الخطوه الاولى قياس انصاف اقطار الدوائر (R) ، وبالتعويض في المعادله (15-7) يمكننا ان نحسب المسافات البينيه للمستويات الذريه لكل دائره حيود (خط حيود) على شرط ان يكون ثابت الكاميرا (λL) معروفا لدينا مسبقا .

ان ثابت الكاميرا يعين بطريقة المعايره ، وابسط الطرق هو استعمال نموذج معروف قياسي ، مثل الالمنيوم ، وبما ان المسافات البينيه لدوائر الحيود الالكتروني لهذه الماده معروف ومجدوله الى درجه كبيره من الدقه ، وبقياس انصاف اقطار الدوائر يمكن تعين ثابت الكاميرا ومن ثم حساب(d's)للنماذج المجهوله في حالة كون النموذج بلوريا ذا نظام مكعب مثلا ، ويكون من السهل تعيين ثوابت البلوره او تصنيفها وذلك بمقارنة نسبة انصاف اقطار دوائر الحيود المختلفه ولنفرض اننا بصدد دراسة معدن ذى تركيب بلوري مكعب متمركز السطوح (FCC) وبأحداثيات الشبيكه في الحيز المقلوب وبوحدات (b) لنقاط الحيود(........ 311 , 220 , 200 ,111) حيث ان هذه هي على مسافات من نقطة الاصل مقدارها (.. , $\sqrt{11}$, $\sqrt{8}$, $\sqrt{4}$, $\sqrt{3}$)على التوالي ، وبالطبع يتكون شكل الحيز المقلوب بالنسبه لنموذج ذا البلورات المتعدده من كرات متمركزه الاقطار والمذكوره اعلاه ، وان نمط الحيود هذا هو في الحقيقه مقطع مستوى لهذه الكرات المتمركزه من نقطة الاصل مكبرة عند التسجيل

بمرات تساوي (λL) ، ومن تعريف الشبيكه في الحيز المقلوب ، ($b = \frac{1}{a}$)
حيث "a" حرف وحدة البناء (side of the unit cell)

لذلك يكون النمط متكونا من دوائر متمركزه بأنصاف اقطار : —

$$\frac{(\lambda L)}{a} \left[\sqrt{3} , \sqrt{4} , \sqrt{8} , \sqrt{11} , \sqrt{12} \right]$$

وبنفس الطريقه يمكننا ان نبين ان البلوره ذات البناء التكعيبي الجسيمي المتمركز (Body centered cubic) تؤدى الى حيود الكتروني بدوائر ذات انصاف اقطار مقدارها : —

$$\sqrt{2} \frac{(\lambda L)}{a} \left[\sqrt{1} , \sqrt{2} , \sqrt{3} , \sqrt{4} , \sqrt{5} , \ldots\ldots \right]$$

وبالنسبه للماس والمواد المشابهه (وهي كثيره) تكون انصاف اقطار الحيود : —

$$\frac{(\lambda L)}{a} \left[\sqrt{3} , \sqrt{8} , \sqrt{11} , \sqrt{16} , \sqrt{19} \right]$$

مثال

معدن غير معروف ادى الى نمط حيود يتكون من دوائر ذات اقطار وفي نفس الوقت

(mm) 39.8 , 34.0 , 24.0 , 20 , 8)

استعملنا نموذج كلوريد الثاليوم (Thallium chloride) لغرض المعايره
فحصلنا على نمط حيود بدوائر اقطارها

(mm) 37.2 , 32.2 , 26.3 , 18.6

عين نوع البناء البلورى وثوابت الشبيكه (مثلا) (a , b , c ,)

ملاحظة : يمكننا الرجوع الى جداول A . S . T . M

8.7 تعين وحدة البناء البلوري من نمط حيود بلورة احادية : –

يمكن الحصول على البلورات الاحاديه كما هي موجوده في الطبيعه (كالكرافيت مثلا او نمو (تكوين) البلورات في المختبر ، ونمو البلورات يشكل علما بذاته Crystal) growth) ، وعلى كل حال ، تكون البلوره بحجم صغير جدا (عدة مليمترات وبسمك لا يتجاوز الـ $1000\ A^0$ سواء استعملنا كاميرا الحيود او المجهر الالكتروني لغرض الحصول على نمط الحيود . اما كيفية الحصول على نماذج رقيقه الى هذه الدرجه فهناك عدة طرق ، ومن هذه الطرق التبخيرعلىسطح بلوري(epitexial growth)

او طريقة الطحن بالنسبه للمواد الصلده (grinding)او بالترقيق (etching)

بواسطة المواد الكيمياويه او القصف بالايونات

السريعة ، وللتوسع في هذا المجال(اى كيفية تحضير نماذج المعادن والسبائك وغير ذلك ، ومن الافضل الاستعانه بالكتاب المتخصص G. Thoms لنرجع مرة اخرى الى موضوع تعيين وحدة البناء البلوري ، لنأخذ نمط حيود عاماً لبلوره احاديه ولنفحص هذا النمط لغرض تعيين حجم وحدة البناء . وان هذا النمط يتكون اساسا من شبيكة مربعة من نقاط الحيود وحجم وحدة الشبيكه (Mesh) فيها هـو

(9 . mm)وثابت الكاميرا $m^2 = \lambda L$ 2.25 وبأستعمال المعادله $d = \frac{\lambda L}{R}$

نجد ان مركز النمط هو عباره عن شبكه مربعة وحجم الوحده فيها هو $40A^{-1}$ $(4\ nm^{-1})$

ويلاحظ في الشكل (12) أن النقاط مرتبه بشكل مجاميع في دوائر متمركزه وبمناطق محدده وتعرف هذه المناطق بمناطق لاوى Laue ones

ويمكن توضيح اصل مناطق لاوى في الشكل (7-9) ، حيث O هي نقطة الاصل في شبكة الحيز المقلوب و L هي نقطة لاوى كما سبق الاشاره اليها و Lo) هي اتجاه الحزمه الالكترونيه الساقطه، ويبين الشكل مقطعا من كرة الانعكاس مارة خلال نقطةالأصل والمفروض أن النموذج هو وريقة رقيقه موضوعة بشكل عمودي على اتجاه الحزمه الساقطه ، فالنمط يتكون من نقاط حيود (وهذه النقاط هي الشبكه في الحيز

المقلوب ذات كثافه معينه تحتل حيزا فيزياويا يساوي $\frac{1}{t}$ ، حيث t هو سمك النموذج لقد تعمدنا في الشكل (7-7) ان نرمز لنقاط الحيود بخطوط قصيره وكذلك كبرنا القياسات لفرق التوضيح والا لا يمكن توضيح كرة الانعكاس – والنقاط التي تمر بها .
ويلاحظ ان كرة الانعكاس تتقاطع مع نقاط شدة الحيود في a,b,c ، وقد علمت نفس النقاط في الشكل (9-7) بنفس الحروف لغرض المقارنه من العلاقات الهندسيه للدائره ، نرى ان المسافه go من الخط (oL) في نقاط الشبيكه الحيز المقلوب في الصف الاسفل ((Bottom row)) وذات خطوط الكثافه المتقاطعه مع كرة الانعكاس تساوي .

$$go^2 = \left(\frac{1}{t}\right)\left(\frac{2}{\lambda}\right) \qquad (22\text{-}7)$$

ومن العلاقه المعروفه

$$\lambda L = \frac{\text{القياس على اللوح الفوتوغرافي}}{\text{القياس الحقيقي في الحيز المقلوب}} \qquad (23\text{-}7)$$

نستنتج ان نقاط الحيود في مركز النمط يجب ان تكون في حدود دائره نصف قطرها

$$R_0 = (\lambda L) g_0 = \left(\frac{2\lambda t^2}{t}\right)^{1/2} \qquad (24\text{-}7)$$

(في الشكل(7 - 10)منطقة لاوى ذات الدرجه صفر ((Zero order)) والممثله بدائرة لها نصف قطر يساوي (18mm) ومن المعادله (22-7) و(23-7) والمعلومات المؤشره اسفل الشكل (10-7) نستنتج ان سمك النمودج (t) هو $t = 6.9$ (nm) اى $69A^o$ وبصوره عامه فأن نصف قطر منطقة لاوى لاية درجه (في الشكل 12 ، الدائره في المركز ذات الخط المستمر هي ذات درجه صفر والمنطقه التي تليها ومرسومه بخطوط متقطعه هي ذات درجه واحده والتي تليها ذات الدرجه 2 وهكذا) ، هو : –

$$R_n = (\lambda L) g_n , \quad g_n^2 = n c^* \left(\frac{2}{\lambda}\right) , \quad n = 1, 2, 3, 4, \ldots$$

حيث * C هي المسافه البينيهللمستويات في الحيز المقلوب

(seperating of the planes of the reciprocal lattice)

مما سبق رأينا ان نمط الحيود في الشكل (7-9) والذي يمثل الحيز المقلوب يتكون مـن مستويات متوازية وكل مستوى يتكون مـن نقاط تكون شبكـة مربعة الشكـل وحجم كل وحده في الشبكه هو $4nm^{-1}$ اى $(40A^{o})^{-1}$ ، وبملاحظة الشكل (12) بصورة دقيقة نلاحظ أن النقاط الواقعه في المنطقه ذات الدرجه الاولى (First order zone) لا تقع على نفس خطوط شبكـه المنطقه ذات الدرجه صفر او المنطقه ذات الدرجه الثانيه .

ان النقاط المكونه شبكة المنطقه صفر والثانيه لو استمرت لتغطي المنطقه ذات الدرجه الاولى ،لادى ذلك الى ان كل نقطه في منطقة الدرجه الاولى تقع في مركز وحدة الشبكه المتكونة من منطقة صفر والثانية ، وتفسير ذلك از هذه الشبكة هي تركيب بلوري من نوع (BCC) بناء بلوري تكعيبي ممركز في الوسط (Body centered cubic) ولهذه البلوره وحدة ذات حرف $4nm^{-1}$ $(40\ A^{o})^{-1}$ وبأستعمال العلاقه بين الحيزالمقلوب والحيز الاعتيادي ، ترى ان التركيب البلورى هو ((FCC)) (كان في الحيز المقلوب (BCC) وهذه البلوره وحدة بناء بحرف o .5 n m أى $5\ A^{o}$. وهذا المثال يبيين لنا

كيف نفسر الحيود من بلوره احاديه للحصول على معلومات هندسيه وقياسا فيزياوية عن التركيب البنائي للبلوره على المستوى الذرى ، ولكن هذه المعلومات ليست هي الوحيده التي نحصل عليها من تجارب الحيود وسنرى مستقبلا اننا سنستفيد من شدة نقاط الحيود (intensity) او دوائر الحيود لتعيين احداثيات مواقع

الذرات في داخل وحدة البناء واطوال الاواصر بينهاوالزوايا بين هذه الاواصر وغير ذلك وبما ان هذه هذه الطريقه هي نفسها تقريبا في حالة استعمال الاشعه السينيه في تجارب الحيود ولذلك سنبحثها في فصل حيود الاشعه السينيه ايضا .

9.7 تأثير الانكسار : — **Refraction effect**

انكسار الموجه الالكترونيه : — كما معروف ان البلوره **(Crystal)** تتكون من صفوف الذرات مرتبه في مستويات تدعى بالمستويات الذريه **(Atomic planes)** الذرات هذه وكما هو معروف تحمل شحنه موجبه في نواتها (بروتونات) ومحاطه بغيمة من الالكترونات السالبه الشحنه . صفوف الذرات تلك موزعه في حيز وثلاثة ابعاد

(Three dimensional distribution)

الشحن الكهربائية المتمثله بنويات الذرات وما يحيطها من الكترونات موزعه بشكل غير متجانس داخل الحيز .

ونتيجة لذلك يتولد داخل البلوره جهد الكهربائيه الساكنه ، ويكون هذا الجهد منفصلا او غير مستمر **(discontensious)** بل يكون دوريا (periodic)

ويغير نفسه بفترات تعتمد على المسافة البينيه للذرات في البلوره

(periodicity of the crystal lattice)

.يمكننا تمثيل الجهد الكهربائي داخل البلوره بالمعادله التاليه

$$V = \sum_{g} V_g \, e^{2\pi i \vec{g}.\vec{r}} \qquad (25\text{-}7)$$

حيث يمثل« **g** متجه الشبكه البلوريه في الحيز المقلوب

(reciprocal lattice vector)

في الحقيقه ان سبب حيود الحزمه الالكترونيه لماده خلال البلوره هذه هو الجهد الكهربائي الدورى المذكور اعلاه وكما سوف نوضح ذلك فيما بعد .

التفسير الفيزيائي لشكل المعادله (25) الرياضي والذي يتكون من عدة حدود في جهة المعادله اليمنى هو : —

الحد الاول يشير الى مقدار الجهد **(potential)** داخل البلوره ويعرف

بالحد ذي الدرجه الصفريه (zero order) ، يختلف عن الجهود المحيطه داخل البلوره (عن الحدود الاخرى) .

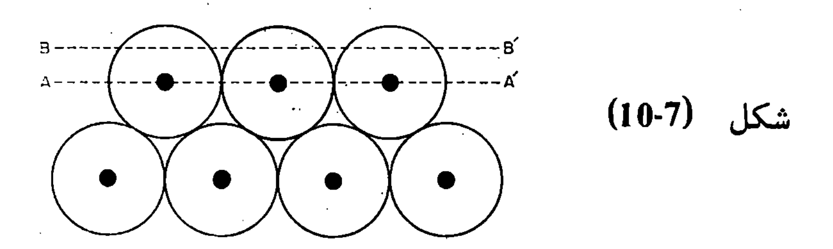
قيمة الجهد (vo) هذا يساوي تقريبا (vo) وقيمتها موجبه دائما وتعرف بالجهد الداخلي للبلوره (Inner potential of the crystal) كثيرا ما تقاس هذه الكميه بطرق مباشره . الشكل التالي (7-10) يمثل مستويين ذريين متجاورين لسطح البلوره، النقاط السوداء تمثل الذره (الشحنه الموجبه) ومحاطه لحدود الدائره التي تمثل الغيمه الالكترونيه .

من الواضح ان الشحنه الكهربائيه الموجبه (+ ve) متمركزه على المستوى AA اما الشحنه السالبه فيكون تمركزها على المستوى BB .

هذان المستويان يشبهان الى حد كبير المكثفه الكهربائيه (ذات المستويين المتوازيين) بذلك سيتكون مجال كهربائي ساكن من المستوى BB متجه نحو المستوى AA ، وهذا يعنى الجهد الكهربائي في المستوى AA وما دونه في البلوره سيكون أعلى بكثير من تلك المناطق التي تلي AA نحو خارج البلوره .

ان كل ذلك يعين حدوث فرق في طول الموجه الساقطه او المسلطه على البلوره عن تلك التي تخترقها خارجه من النهايه الادنى. الذي نريد قوله هو ان البلوره سوف تكسر (refract) الحزمه الالكترونيه الساقطه بنفس الطريقه التي ينكسر الضوء عند مروره من مجال الى اخر يختلفان في الكثافه (مثل مرور الحزمه او الاشعه الضوئيه من الهواء الى الزجاج والعكس) .

والان اذا افترضنا ان الجهد المعجل للالكترونات المسلطه هو (V) ، فستكون



شكل (7-10)

الطاقه الحركيه لهذه الالكترونات ev ، حيث تمثل e شحنه الالكترون . الطاقه ev تمثل طاقه الالكترونات الحركيه خارج البلوره .

اما داخل البلوره ، الطاقه الحركيه للالكترونات تساوي $(V + V_0)$، علما ان تمثل الجهد الداخلي للبلوره كما ذكرنا سابقا .

نستطيع القول ان معامل الانكسار للبلوره يساوي ما يلي : -

$$\mu = \frac{\lambda_{vacuum}}{\lambda_{crystal}} \qquad (26\text{-}7)$$

حيث تمثل كل من λ vacuam ، λ crystal الاطوال الموجبه للالكترونات خارج وداخل البلوره على المتتالي .

$$\mu = \frac{(V+V_0)^{1/2}}{V} \simeq 1 + \frac{V_0}{2V} \qquad (26-7)$$

$\frac{V_0}{V} \ll 10^{-3}$ اذا كانت سرعة الإلكترونات كبيره خارج البلوره .

اذا افترضنا سرعة الالكترونات (قريبه من سرعة الضوء) عند ذلك يجب استخدام مفاهيم ومعالجات الميكافيك النسبي ، وبذلك يكون معامل الانكسار مساويا الى ما يلي .

$$\mu = 1 + (V_0/2V)(1 + eV/2mc^2) \qquad (27-7)$$

m' e تمثلان شحنة وكتله الالكترون ، اما c فتمثل سرعة الضوء .

لنحاول الان دراسة انكسار الحزمه الالكترونيه عند سطح البلوره ، الشكل التالي يوضح الفكـــره .

حيث تمثل Φ زاويه انكسار الحزمه داخل البلوره .

بتطبيق مفاهيم قانون سنيل (Sneals Law) في الانكسار : -

او ان

$$\cos(\Phi - \epsilon) = \mu \cos\Phi$$

$$\varepsilon = (1-\epsilon)\cot\Phi = \frac{V_0}{2V}\cot\Phi \qquad (29\text{-}7)$$

كما ويمكننا كتابة قانون سنيل بشكل اكثر افاده في مجال تطبيقات الحيود كما

هنالك اجهزه تعمل بجهد اكبر من هذا وخصوصا في حالات استخدامات المجهر الالكتروني لدراسات الحيود وتعرف بالجهد العالي (high voltage)
وتتراوح بين ((1000-200 Kv)

كما ان هنالك انظمه حيود الالكترونات المعجله بجهود واطئه (LEED)
ويكون مدى الجهد المعجل بحدود بضع مئات من الفولتات سوف نتكلم عن هذين النظامين تباعا .

10.7 حيود الالكترونات ذات الطاقه العاليه : – - High voltage . electron diffruction

يتم الحصول على هذا النوع من الالكترونات في اجهزه المجهر الالكتروني التي تعمل بجهد تعجيلي قدرهMev 1او اكثر ان فائدة استخدام الالكترونات ذات الطاقات

(High voltage electron Transmission Electron MicrosCope)

الطاقات العاليه كثيره ومن اهم تلك الاستخدامات هي الدراسهالفيزياوية والهندسيه لنماذج سميكه نسبيا ، حيث تخترقها الالكترونات ذات الطاقه العاليه ، وحيث تمتلك هذه الالكترونات أطوالا موجيه غايه في الصغر ، وهذا ما يسهل بعض التغيرات النظريه في تجارب الحيود . سنحاول هنا التركيز على المعنى الفيزيائي ، او بالاحرى فائدة قصر طول الموجه وكما ذكرنا سابقا ، ، ان كرة الانعكاس تمتلك نصف قطر قدرها ($\frac{1}{\lambda}$)
لذلك عندما تكون الموجه قصيره يكون نصف القطر الكبير وبذلك يقل انحناء كرة الانعكاس كثيرا حتى يقترب الانحناء من المستوى . وهذا يعني ان كرة الانحناء سوف تتقاطع مع عدد كبير من نقاط الحيود (نقاط الشبيكه في الحيز المقلوب)
كما يجب الا يفوتنا ذكر ان **de** (مسافه الامتصاص) تزداد ايضا عند **زيادة** الجهد المعجل للالكترونات ، كل هذه العوامل تجعل تفسير انماط الحيودالالكتروني اسهل في الحقيقه هنالك الكثير من الفوائد في استعمال الالكترونات ذات الطاقه العاليه تخص الباحثين في مجال المعادن وبوسع الذين يهمهم الامر ان يرجعوا الى
et DUPOUY .

قياس الجهد الداخلي :

المعادله رقم (288) تشير الى ان الانحراف المتسبب عن الانكسار يكون كبيرا كلما كانت زاويه الحزمه الالكترونيه مع السطح صغيرة (The glancing angle)

ان معظم قياسات الجهد الداخلي لبلورات المواد المختلفه تجري وذلك بقياس ودراسة نمط الانكسار عن سطوح البلورات (يجب ان تكون السطوح ملساء smooth ونظيفه الى درجة كبيرة على مستوى ذرى) .

انظر الشكل (7 - 11) يمثل حزمه الكترونيه مسلطه على سطح بلوره وبزاويه مقدارها (Φ) ، اما زاوية الانعكاس عن السطح الموازى للسطح وبعد الانكسار فتمثل زاوية براك (θ)

$$\cos\Phi = \cos\theta$$

وبذلك يكون

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

حيث تمثل " d " المسافه البينيه للمستويات الذريه و" n " تمثل درجة الحيود (order of diffraction) .

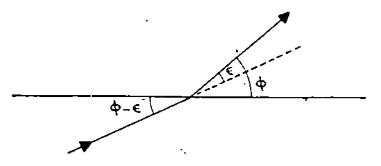
من المعادلتين نستطيع الحصول على ما يلي : -

$$\sin^2\Phi = \frac{n^2\lambda^2}{4d^2} = \mu^2 - 1$$

الطريقه العمليه للقياس ، هي جعل البلوره تدور وبشكل بطيء وبذلك يستطيع الحصول على انعكاسات لدرجات مختلفه (n = 1 , 2 . 3 , 4 ....) حيث يتكون نمط الحيود على شكل نقاط على اللوح الفوتغرافي والذي تجري عليه قياسات والان وبرسم $\sin^2\Phi$ مع n^2 نحصل على قيمة V_o وذلك بالاستعانه بالعلاقة : -

$$\mu = 1 + V_o/2V$$

كل ما تقدم كان يعني الالكترونات المعجله بجهد يتراوح (100 - 20kv) وهذا المدى من الجهد المعجل يدعى بالجهد الاعتيادى او التقليدي (Conventional voltage) .



شكل (11-7)

يلي : -

$$\mu = \frac{K}{K_0}$$

حيث ان

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad , \quad K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ويعرفان بالعدد الموجي .

$$\therefore K_0 \cos(\phi - \epsilon) = K \cos\phi$$

المعادله الاخيره ، تشير الى ان مركبه الموجه الماسه للسطح(Tangential to the surface) لا تتغير عند دخول الموجه الى البلوره ، وهذه حقيقة هامه ، حيث لا بد ان تكون هناك استمرارية في دالة الموجه "ψ" في حدود البلوره

(At the crystal boundary)

لنفرض الان المسافه بين النموذج واللوح الفوتوغرافي هي ، L ، بذلك يصبح الانحراف عن الموقع الذي يجب ان يقصف به اللوح الفوتغرافي في حالة عدم وجود تأثير للانكسار هو : -

$$\Delta_1 = L\epsilon = \frac{LV_0}{2V} \cot\phi$$

اما اذا كانت البلوره او النموذج المفحوص على شكل اسفيني . (wedge shaped crystal) . في هذه الحالة تكون محصله الانحراف عباره عن جمع اتجاهي للأنحرافين وتأثير الانحراف نتيجة الانكسار ويؤدي الى كبر نمط الحيود ويؤثر بالتالي في دقة المعلومات المستخلصه . وهذا الخطأ هو بحدود % 3 - 2 .

11.7 حيود الالكترونات ذات الطاقه الواطئه : - . Low Enagy - Electron Diffraction

في هذه الحاله تستخدم الالكترونات المعجله بجهود تتراوح بين ....

10v – 500) وبذلك تخترق النماذج الى مسافات قصيره جدا السمك الذي تخترقه هذه الالكترونات لا يتعدى سمك عدة ذرات (او بضع مسافات ذريه داخل البلوره) .

لذا فأن لهذه الطريقه اهميه ومكانه عظيمتين في دراسة تركيب سطوح المعادن وخواصها الفيزياوية والكهربائية نظرا لاهميتها في التطبيقات التكنولوجيه ، ويصطلح على هذا النوع من الالكترونات (L E E D) .

من اهم اجزاء الكاميرا المستعمله في هذا النوع من الدراسة ، هو المصدر الالكتروني الذي يولد الكترونات احاديه الموجه و(احادية الطاقة) لحزمة مقطعها العرضي يساوي حوالي ١ ملم٢ . تسلط هذه الحزمه على سطح النموذج المطلوب فحصه ، وعند انعكاسها من السطح (يتم الحيود عن المستويات الذريه) تسجل على لوح فوتغرافي لغرض التحليل

ان الكتاب هذا لا يتسع لشرح وتفصيل المجالات التطبيقيه والنظريه لدراسة السطوح بأستخدام الحيود الالكتروني ذات الجهد الواطي . لغرض الفائده نعدد بعض المجالات ذات التطبيق التكنولوجي مثل : –

١) دراسة سطوح المعادن او السبائك المساعده في التفاعلات الكيمياوية في الصناعات الكبيره (Catalysis)

٢) دراسة العناصر الخفيفه العالقه على سطوح المعادن الثقيله مثل الاوكسجين والهيدروجين على سطح النيكل وغيرها .

٣) دراسة سطوح المعادن المهمه في الصناعه مثل النيكل .

٤) الاهتزازات الحراريه للذرات في سطوح المعادن .

٥) دراسة التأكل Corrosion .

٦) دراسة سطوح اشباه الموصلات (Semiconductors) مثل السليكون والجرمنيـــــوم .

الفصل الثامن

1.8 حيود النيوترونات : Neutron Diffraction

يحصل على النيوترونات الحراريه من قناة من اقنية المفاعل النووى عادة لاغراض دراسات الحيود . وهذه النيوترونات لها طيف من الطاقه الحركيه ، لذلك تمرر من خلال بلوره احادية لغرض الحصول على حزمةنيوترونات ذات موجه احادية (**monochromatic**)

حيث تسلك البلوره سلوك المصفاة كما الحاله في الاشعه السينيه وبعد عملية الترشيح (**filter**) هذه تستعمل النيوترونات لغرض دراسة حيودها من المواد المختلفه

واذا فرضنا .(**E**). هي الطاقهالحركيه للنيوترونات اى : —

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \qquad (1-8)$$

حيث **m,v** هما كتلة النيوترونات (كتلة النيوترون = 1.67×10^{-27} **gm**)

فيكون طول الموجه المصاحبه لحركة هذه النيوترونات هي .

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \qquad (2-8)$$

وكما هو معروف **h** هو ثابت بلانك .

ولقد ذكرنا ان هذه النيوترونات حراريه (**Thermal neutrons**) أي ان الطاقه الحركيه لمعضمها هي**KT** ، حيث**K** ثابت بلاتزمان و**T** درجة الحراره المطلقة وبذلك تكون المعادله (2) كما يلى :—

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mKT}}$$

درجة الحراره (**T**) تكون في القدر **300-400 K** اى ان طول الموجه لحزمة النيوترونات تكون بين$2A^o$ - **1**، بعباره اخرى في القدر نفسه لطول موجه الاشعه السينيه .

نجرى تجارب بواسطة جهاز يدعى جهاز المحيد النيوتروني(**Neutron Diffractomenters)**

، حيث تقاس شدة نقاط الحيود من النموذج(**Intensity**) بواسطة كاشف او حاسب مملوء بغاز BF_3. والفرق الرئيسي بين حيود النيوترونات من جهه وحيود الالكترونات والاشعه السينيه من جهة اخرى ،(**Z**) هو في اختلاف اعتماد قوة الاستطاره

الذريه على Z (العدد الذري) وزاوية الاستطاره (2θ) . فمثلا تزداد قوة الاستطاره في حالة الالكترونات والاشعه السينيه مع ازدياد العدد الذرى (Z) وتقل بأزدياد الزاويه . بينما تستطير النيوترونات بنفس الشدة لكافة الزوايا ، اى ان الاستطارهلا تعتمد علىالزاويه كما الحال في حيود الالكترونات والاشعهالسينيه . كما ان استطارة النيوترونات لا تعتمد على العدد الذرى (Z) بشكل رئيسي . وهاتان الخاصيتان تجعلان حيود حزمة النيوترونات من افضل الطرق والتي لا بديل لها لدراسة التركيب البنائي للمواد ذات الذرات الخفيفه Low z . ونؤكد هنا مرة اخرى ان للذرات المختلفه قوة عامل استطارة مختلفه ، لا تعتمد على العدد الذرى ، بل تختلف بعض الشيأختلافا عشوائيا . حيث تكون قوة عامل الاستطاره للذرات الخفيفه اكبر في بعض الحالات من الذرات الثقيله لذلك يمكن الحصول على معلومات عن مواقع ذرات الهيدروجين والكاربون مثلا في بلورة تتكون اصلا من الذرات الثقيله ، مثل الحديد لا يمكن الحصول على هذه المعلومات في حالة استعمال الاشعة السينيه او الالكترونات مطلقا .

يمكن ان نلخص ذلك بأن الاشعة السينيه تخبر ، عن توزيع الشحنه الكهربائيه في المادة (Electrical charges) بينما نمط حيود الالكترونات يعطي معلومات عن توزيع الجهد الكهربائي في البلوره (Potential) والنيوترونات ترى النويات (Nucli) من خلال تفاعلها مع القوىذات المدى القصير لهذه النويات ومن اهم تطبيقات حيوذ النيوترونات هي في دراسة الخواص المغناطيسيه للمواد على المستوى الذرى وبدرجة كبيره من الدقه . حيث للنيوترونات خاصية اللف (Spin) وكذلك للذرات في المواد المغناطيسيه فتستطير النيوترونات مغناطيسيا وينعكس ذلك في مقدارشدة وموقع نقاط الحيود ، التي فيها تستنتج الخواص المغناطيسيه وللغور في تكنيك حيود النيوترونات انظر Bacon على سبيل المثال .

الفصل التاسع

المجهر الالكتروني

1.9 مقدمة :

لقد قلنا ان فصل حيود الالكترونات في هذا الكتاب ان المجهر الالكتروني يعتبر جهاز حيود ، سواء في حالة استعماله ككامره حيود الالكترونات السريعه او استعماله كمجهر لدراسة الترتيب البنائي للمواد وكلتا الطريقتين هما عملية حيود ، ليس نمط الحيود الا صوره للجسم في الحيز المقلوب او في حيز فورير (Fourier space) .

وهناك علاقة مترابطه ، واحدة بواحده ، بين نمط حيود الجسم وصورته ونظرا لان استعمال تكنيك او طريقه الحيود هو لاستخلاص المعلومات عن التركيب البنائي للماده بتحليل عال جدا يصل الى المستوى الجزيئي او الذرى ، وكذلك يستعمل المجهر الالكتروني لتحقيق نفس الغرض ، ونظرا لازدياد اهمية المجهر الالكتروني كجهاز فعال في كافة مجالات البحث الفيزياوية ، الهندسية ، البايولوجيه يوما بعد يوم رأينا من المفيد ان يعرف القارىء على المبادىء الاساسيه للمجهر الالكتروني .

لابد لنا ان نبدأ نبذة تاريخيه عن المجهر بصوره عامه ومن ثم نبين التسلسل التاريخي والعلمي في تطور المجهر كجهاز مهم في مجالات البحث العلمي . وكذلك التطور العلمي الذى ادى الى بناء المجهر الالكتروني وما احدثه هذا الجهاز الفيزياوي من قفزة كبيرة الى الامام في علوم الفيزياء والطب والاحياء وعلم الماده بصوره عامه .

من الملاحظ ان الانسان ومنذ القدم كان يرغب في اكتشاف الحقائق الدقيقه التي هي خارج قابلية النظر الاعتيادي (التفاصيل التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجرده

ويعتبر المجهر الضوئي البسيط والذي يتكون من عدسه لامه من اقدم الاجهزة العلميه التي استعملها الانسان ، حيث عثر الاثارى ليارد على عدسه لامة من الصخر الشفاف (Rock Crystal) في قصر نمرود يعود تأريخها الى سنة ٨٦٠ قبل التاريخ .

وقد استعملت العدسات المكبره البسيطه منذ القدم ايضا ، ويمكننا ان نتتبع التاريخ بصوره دقيقه لنرى ان العدسات المصححة للنظر قد استعملت منذ ٦٠٠ سنه على الاقل . على كل حال تعتبر العدسات المشار اليها بدائيه وضعيفه قياسا لما عليه الحال في صناعة العدسات في الوقت الحاضر . وتعتبر التنزة الاولى في صناعة العدسات ذات البعد البؤرى القصير ابتداء من تاريخ صناعة المجهر الضوئي المركب من قبل هانزسانزا وأبنه فواجايز في نهاية القرن السادس عشر .

2.9 القوة التحليلية للمجهر : Resolving Power

(رؤية جسمين أقرب ما يكون لبعضها بوضوح)

كان يعتقد بأنه من الممكن رؤية ادق التفاصيل في البناء الداخلي للماده باستعمال المجهر ، اذا ما احسن صنع عدسات مثاليه وذات تكبير كبير . الا ان العالم Abbe وضع حدا لهذه المعضله باستنتاجه العلمي الذى مفاده ان القوة التحليليه لاية عدسة تكون محدده بظاهرة الحيود التي تحدث للموجات المستعمله في عملية الرؤيه . وطبيعي هذا يعني ان طول موجه الضوء وفتحة العدسه يحددان القوة التحليليه للمجهر الضوئي واذا اعتبرنا ان الضوء ذو طبيعية موجبة .

يمكن كتابة القوة التحليليه (R) بالشكل التالي :

$$R = \frac{\frac{1}{2}\lambda}{\mu \sin\theta} \qquad (1-9)$$

عادة يعبر عن $\mu \sin\theta$ بالفتحة العددية "N.A" (Numerical Aperture) . في الواقع المعادله رقم (1-9)

اشتقت ضمن معيار Rayleigh

(Rayleigh Criterion) كما هو مبين في المعادله ان القوة التحليليه رؤية جسمين أقرب مـا يكون لبعضهما بوضوح) تتناسب مع طول الموجة اي

انه نحصل على قوة تحليلية عاليه (High Resolution) كلما قصرت طول الموجه

واذا اعتبرنا امكانية التكنولوجيا المعاصره في صنع العدسات(الخاليه نسبيا من العيوب) فلا يمكن ان نرى تفاصيل اصفر من $7000\ A^{o}$ $(1A^{o} = 10^{-8}\ cm)$ عند استعمال الضوء المرئي كمصدر أضاءه (معدل طول موجه الضوء المرئي يساوى $7000\ A^{o}$ والشي المراد من هذه المقدمه هو محدوديه القوه التحليليه للمجهر الضوئي $7000\ A^{o}$ مع فرض استعمال احدث المعطيات التكنولوجيه في المستقبل وبعبارة اخرى تحديد

طبيعي لا يمكن تعديه . هذه الحقيقه بدت واضحة من زمن بعيد وبالتحديد منذ ان اطل علينا Abbe بنظريته سنة ١٨٨٠م. وطبيعي لم يتوقف طموح طلاب الحقيقة عند هذا الحد وكانوا يترقبون مولد طفره جديده في العلم تمكنهم من من الغور في أعماق الماده ودراسة تفاصيلها على المستوى الذرى .

كانت بداية الطفره هي في ان نترك اشعاعات الكهرومغناطيسية كمصدر للاضاءه والبحث عن مصدر جديد . ولحسن الحظ تحققت هذه الرغبه عندما اكتشف طالب الدكتوراه الفرنسي **Louis de Broglie** وهو يكتب في اطروحته في منتصف سنه ١٩٢٠ان طول موجة (λ) تستصحب الجسيمات الماديه المتحركه (وبعباره اخرى الطبيعيه الموجبه للماده) اثبتت هذه النظريه تجريبيافيما بعد .

ينص قانون **De Broglie** على :

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad (1\text{-}9)$$

حيث h ثابت **Planck** و p زخم الجسيمات الماديه (**Momentum**)

ونحن هنا نعني بالجسيميات المشحونة – (لسهولة تبؤرها **(Focusing)** وبالتحديد الالكترونات . ومن المعروف انه يمكن تعجيل الالكترونات الى الطاقه اللازمه وذلك بامرارها خلال فرق جهد V . ومن المستحسن هنا ان نعبر عن الزخم P في المعادله رقم (٢) بدلالة V, . فاذا عجلت الالكترونات ذات الشحنه (e) بين فرق جهد الصفر و V فيخبرنا قانون حفظ الطاقه ان :

$$Ve = \frac{1}{2} m^2 v^2 = \frac{p^2}{2m} \qquad (2\text{-}9)$$

حيث ان m هي كتلة الالكترون و v سرعته . واذا اعتبرنا ان الالكترون يكون ساكنا

عند o = V فعندها : $P = (2meV)^{\frac{1}{2}}$

وبالتعويض في معادله (1-9)

$$\lambda = \frac{h}{(2mV)^{\frac{1}{2}}}$$

وبالتعويض عن العوامل الثابته للالكترون تكون المعادله :

$$\lambda(A^{o}) = \frac{12}{V^{\frac{1}{2}}} \qquad (3\text{-}9)$$

حيث λ تكون بوحدات A^{o} و V تقاس بالفولت .

ندرج ادناه قيمة λ للالكترونات كدالة للفولتيه المعجله :

(حيود الالكترونات السريعة)
(المجهر الالكتروني)

kv	A^0
20	0.087
100	0.037
IMV	0.0055

قارن طول λ للالكترونات مع λ للجزء المرئي من طيف موجات — الكهرومغناطيسية $3000 - 8000\ A^0$.

وعليه يمكن كتابة معادلة القوة التحليلية للمجهر باستعمال الالكترونات مصدراً للاضاءة (المجهر الالكتروني) كما يلي :— (4-9) $R = \frac{0.5\lambda}{\sin\theta}$

حيث μ تساوي واحداً في هذه الحالة لاستعمال الفراغ (كما سنناقش ذلك فيما بعد) بين العينة والعدسة. وتستعمل عادة عدسة شيئية (كهرومغناطيسية) للمجهر الالكتروني ذات فتحة صغيرة جداً فيمكننا أن نقول هنا ان القيمة المثلى للقوة التحليلية للمجهر الالكتروني في جزء من الأنكستروم (A^0) ولكن المصاعب العملية في بناء عدسات مغناطيسية خالية من العيوب تحدد القوة التحليلية ($2 - 5\ A^0$)وهناك في الوقت الحاضر مجاهر تحت البناء بعدة مختبرات في العالم للحصول على قوة تحليلية قدرها $1\ A^0$ ولا بد هنا من الأشارة الى الناحية التاريخية والجهود في بناء المجهر الالكتروني اول المحاولات لبناء المجهر كانت سنة ١٩٣٣ في برلين بالمانيا من قبل نول وروسكه ويوش ، وأستمرت المحاولات الى ان جاءت .

الحرب العالميه الثانيه حيث توقفت البحوث بهذا الاتجاه واستؤنفت بعد الحرب العالميه الثانيه محاولات بناء المجهر الالكتروني ليس في المانيا وحدها بل في اوربا وامريكا الشماليه .

3.9 مكونات المجهر الالكتروني :

يتكون المجهر الالكتروني بابسط الاحوال من الاقسام التاليه : —

١ — مصدر الالكترونات **Electron gun**

٢ — عدسات مكثفه

٣ — عدسه شيئيه

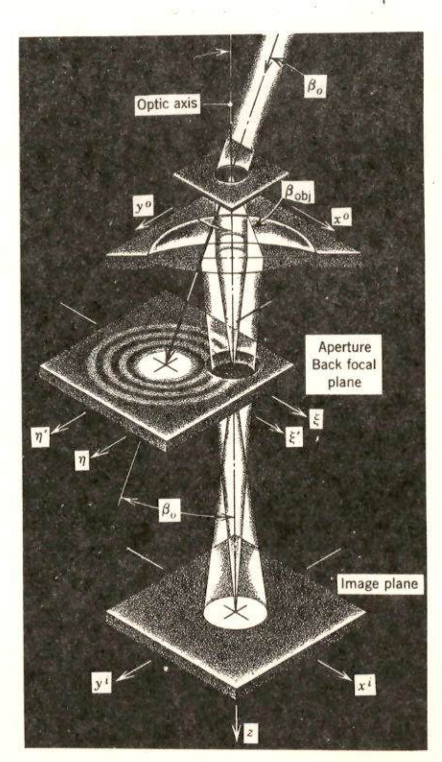
٤ — عدسات مكبره

٥ — شاشـه

٦ — كامره للتصوير

وتكون كل هذه الاجزاء داخل انبوب يفرغ من الهواء الى حوالي 10^{-6} **torr** يدعى بالاسطوانه (column) والعدسات هنا عدسات مغناطيسيه تغذي بالتيار من الخارج .

والشكل رقم (9 = 1) يصف المجهر تخطيطيا



شكل (1-9)

4.9 مصدر الحزمه الالكترونيه :

عند بناء مجهر الكتروني نحتاج الى مصدر للحزمه الالكترونيه (المستعمله كمصدر للاضاءه) ويجب ان تكون هذه الحزمه متشابهه وجميع الالكترونات فيها تسير بسرعة واحده (Coherent) وبالطبع هذا الشرط مهم جدا في عملية الصوره . وهناك عدة طرائق لتوليدالحزمه الالكترونيه ، او انبعاث الالكترونيه من المواد الصلبه ولكن اهم هذه كلها هي طريقتان : –

١ – الانبعاث الحرارى : **(Thermal emission)** وتعتبر هذه الطريقه هي الشائعه في المجاهر الالكترونيه .

٢ – الانبعاث المجالي : **(field emission)** لهذه لهذه الطريقه حسنات كثيره مقارنه مع الاولى ولكن هناك عدة صعوبات عمليه في استعمالها .

الطريقه الاولى ، تسخن فتيله معدنيه **(Metal filament)** وهذا يوءدى بأن تترك الالكترونات المعدن الصلب عابرة السطح الى الخارج وفي هذه الحاله تعمل الفتيله على شكل حرف V كما في الشكل (9-2) وهناك اشكال اخرى كثيره .

وعندما تترك الالكترونات سطح الفتيله ، تكون ساكنه الى حد ما (ذات طاقه 1ev) ، ومن هنا تعجل خلال فرق جهد 100 KV مثلا او اكثر حسب نوع المجهر كما في الشكل (9-3) والعلاقه الرياضيه للاضاءه B . والتي تعني في المجهر الالكتروني كثافة التيار لوحدة الزاويه المجسمه هي :

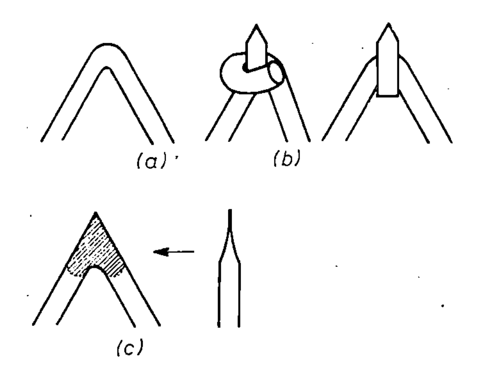
$$B = \frac{\dot{J}eV}{\pi KT} \qquad (4\text{-}9)$$

حيث فرق الجهد بين المهبط والمصعد V

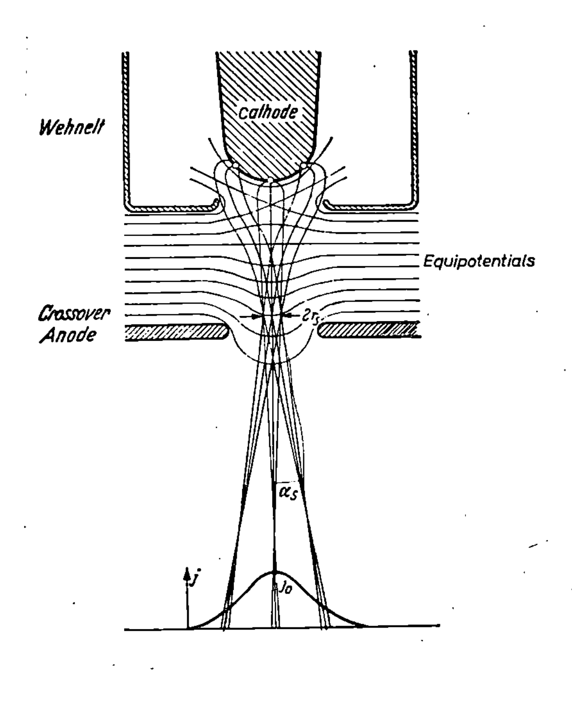
T درجه حراره الفتيله بالمقياس المطلق (K^0)

J كثافة التيار المنبعث من الفتيله

e . شحنة الالكترون و K ثابت بلا تزمان .


(a)
(b)
(c)

شكل (2-9)


Wehnelt
Cathode
Equipotentials
Crossover
Anode
$2r_s$
α_s
j
j_0

شكل (3-9)

في حالة الفتيله التي وصفناها انفا تكون درجة الحراره حوالي $2\,800\ k^{o}$, J
في حدود $0,035\ AMM^{-2}$ وبذلك تكون الأضاءه B ' $2\ AMM^{-2}\ Msr^{-1}$ '

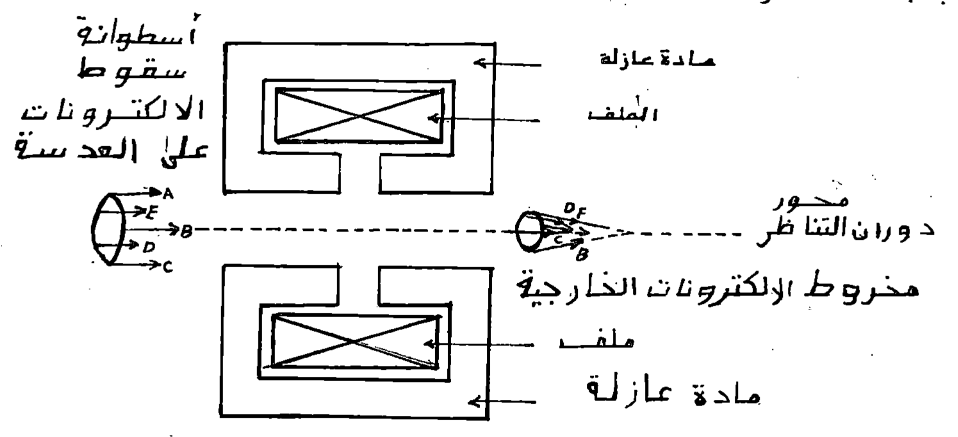
وللاطلاع على تفصيل اكثر بخصوص نظام (System) الاضاء ه انظر Hawkes

العدسات المغناطيسيه :

تترك الالكترونات (الحزمه الالكترونيه) المصدرمبعثرة، فلا بد من تبئير(Focusing) هذه الحزمه لكي تركز على العينه المراد فحصها . وتتم هذه العمليه بواسطة عدسات مغناطيسيه والتي هي عباره عن ملفات يمر فيها تيار ثابت فينتج فيض مغناطيس قوى جدا على مدى فتحه صغيره في العدسه معمولة عادة من الصلب وقد نحتاج الى وقت طويل وكتاب متخصص لوصف خواص العدسات المختلفه في المجهر الالكتروني . ولغرض التعميم سنشتق، معادله العدسه المغناطيسيه بصوره عامه ، ومنها يمكن التحوير لتصميم العدسات المختصة . وبالمناسبه أن جميع العدسات المغناطيسيه في الوقت الحاضر تصمم بواسطة الحاسبات الالكترونيه ، (Computer aided design)

ان بناء العدسه المغناطيسيه موضح تخطيطيا في الشكل (4-9)

هناك مركبتان للمجال المغناطيسي فقط (للتماثل) H z محور العدسه باتجاه نصف قطر فتحة العدسه .



شكل (4-9)

القوه الموءشره على الكترون الذى يسير باتجاه محور العدسه هي :

$$\underline{F} = -\underline{e}\,\underline{r}\wedge\underline{H} \tag{5-9}$$

ومركبات هذه القوه هي الاحداثيات الاسطونيه **(Cylinderical coordinate)**

$$F_r = -e\theta r \quad H_z \tag{6-9}$$

$$F_\theta = -e Z H_r + e r' H_z \tag{7-9}$$

حيث تمثل r' مشتقه r مع الزمــن .

وكما يلاحظ من المعادلات ، أن F_r تزداد مع المسافه من مركز العدسه(محور العدسه) وهي باتجاه نصف القطر . وهذه هي التي تعطي العدسه خاصية التبئير . (**Focusing**)

اما القوه الزاويه « F_θ » فهي تعمل على تدوير الالكترونات(Rotation) .

وهذا يؤدى الى تدوير الصوره (Rotation of the Image) .

ان الاستمرار في كتابة المعادلات الرياضيه لاشتقاق معادلات العدسه المغناطيسيه قد تؤدي الى الملل في مجال كتابنا هذا ، نكتفي بالقول ان العدسه المغناطيسيه هي هي عدسه سميكه (**(Thick Lens)**) وللسهوله يمكن التقريب باعتبارها عدسة رقيقه . وبذلك يمكن التعبير عن البعد البؤرى (f) والخواص الزاويه بالشكل التالي : —

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{e}{8mV}\right)^{\frac{1}{2}} \int_0^b H_z\,dz \tag{8-9}$$

$$\theta = \left(\frac{e}{8mV}\right)^{\frac{1}{2}} \int_0^b H_z^2\,dz \tag{9-9}$$

وبالطبع **V** فرق الجهد المشار اليه سابقا و **m** كتلة الالكترون .ولو فرضنا ان H_z هي ثابته على مدى فتحة العدسه وصفر في ما عداها (فتحة العدسه) يمكنناان نقول :

$$\frac{1}{f} = \frac{e}{8mV} H_z \ell \quad \text{و} \quad G = \left(\frac{e}{8mV}\right)^{\frac{1}{2}} H_z I$$

ومن المعروف ان $H \propto NI$

حيث N عدد اللفات و I التيار المار وبذلك يمكن تبسيط المعادلتين اعلاه الى ما يلي : —

$$f = \frac{K_1 V}{(NI)^2} \qquad (10\text{-}9)$$

$$G = \frac{K_2 (NI)}{V^{1/2}} \qquad (11\text{-}9)$$

حيث K_1 و K_2 ثوابت **(Constants)** .

نظرا لتناسب **(f)** مع مربع التيار ، فأنه لا يتغير عند تغيير اتجاه التيار وكذلك التكبير . بينما تتناسب G مع التيار لذلك يحدث دوران في الصوره عند تغير اتجاه التيار في ملف العدسه .

كما قلنا سابقا ان المجهر الالكتروني عدة عدسات وهي : —

١— العدسات المكثفه condenser lens وعددها أثنتان وتعمل كعدسه لامه ولاسقاط الحزمه الالكترونيه من المصدر على العينه كحزمه ملمومه نصف قطرها حوالي 2 um .

٢— العدسه الشيئيه (objective) . وهذه العدسه ذات بعد بؤرى صغير **3mm** تقريبا ووظيفتها تكوين الصوره

٣— عدسه وسطيه وعدستان اسقاط لتكبير الصوره بثلاث مراحل واسقاطها على الشاشه الفلورنسيه . حيث يصل التكبير في المجاهر الحديثه الى مليونين مره ، والحصول على تكبير اعلى امر سهل جدا من الناحية التكنولوجيه اذ يحتاج الى تحوير بسيط في عدسات الاسقاط فقط . وكما قلنا سابقا ان الالكترونات مداها قصير جدا في الهواء ، لذلك يجب ان تسير في الفراغ عادة تفرغ الاسطوانه التي تحوى على مصدرالالكترونات والعدسات والشاشه حوالي 10^{-6}torr . ويتم ذلك بواسطة اجهزة التفريغ المتصله بالاسطوانه **(Column)**

5.9 العينه التي تفحص بالمجهر الالكتروني .

كما قلنا سابقا ان المجهر يستعمل في مجالات عدة في الفيزياء والطب ودراسة علم الماده وغيرها . لذا فأن طبيعة العينات ستختلف حسب مجال العمل ، بالنسبه لمجالات علوم الحياة ، فأنها على الاكثر تكون من الانسجه (تحضير النماذج الحياتيه للفحص بالمجهر الالكتروني عملية طويله وتاخذ اكثر وقت الباحثين في هذا المجال) وفي مجالات الفيزياء قد تكون النماذج من المعادن البلورية أو غير البلورية أو العضوية أو السيراميك والسبائك المختلفة والطبيعة التي تشترك فيها كل هذه النماذج هي ان تكون رقيقة جداً ، فأذا فرضنا أننا نستعمل الكترونات ذات طاقة 100 KV فسمك النماذج بصورة عامة ، يجب الا يتجاور 1000 A^{O} وذلك لتمر خلالها الالكترونات دون أن تمتص أو تعكس اتجاه حركتها .

وفي الحقيقه هناك كتب مخصصه تصف طرق تحضير النماذج في كل حاله ولكن نذكر بايجاز ، فمثلا بالنسبه للانسجه ، تثبت اولا (fixation) ومن ثم تدفن في بلاستك يجرى صلبه بالحراره وتقطع الشرائح بواسطة جهاز يدعى (Ultra Microtom) ومن ثم تصبغ بسوائل املاح الذرات الثقيله(مثلا (Urunium acetet)

اما بالنسبه للمعادن ، فانها تحضر اولا الى اقراص قطرها 3 mm تقريبا ومن ثم يزال الثخن بواسطة عمليات (Electro chemical thining) الى ان رقيقه وملائمه للفحص . وفي بعض الحالات تبخر النماذج في اجهزة تبخير خاصه (Evaporator) على سطوح خاصه وباسماك ملائمه .

وفي كل الحالات توضع النماذج على قرص ذي قطر 3mm - 2 يشبه المنخل مصنوع من النحاس او الذهب وفي بعض الاحيان من البلاتين يدعى بمحزز النموذج . (Specimen grid) .

ويمسك هذا المحزز في جهاز خاص ويحقن الى داخل اسطوانه المجهر في الموقع المخصص لذلك ويدعى بموقع النموذج (Specimen stage). تجرى عمليات داينميكيه مختلفة على العينه داخل المجهر اثناء الفحص وخصوصا في البحوث غير البايولوجيه(الحاله الصلبه وعلم الماده) ، فمثلا تبريد العينه الى درجة حراره سائل الهليوم اثناء الفحص لدراسة التغيرات في التركيب ، — وخصوصا عند دراسة التوصيل الفائق في المواد والسبائك (Super conductivitv) أو ان تعرض العينات الى اجهادات خارجيه (stress) لدراسة تأثير ذلك والتركيبالبلورى للماده على المستوى الذرى وملاحظة حركة الخلوع (Dislocation motion) بصوره داينميكيه . وقد تسخن العينه الى درجات حراره عاليه لدراسة التغيرات في الطور (phsae transformation) وغير ذلك كثير ، وتتم كل هذه العمليات بتركيب اجهزة اضافية وحسب متطلبات البحث في منطقة موقع النموذج (Specimen stage) .

ومن هذه الاجهزه الاضافيه :

قرص التبريد	1 - Cooling stage
قرص التسخين	2 - Heating stage
لتبديل وضع العينه بالنسبه لحزمة الالكترون	3 - tilting stage
الشـــــــد	4 - tensiie stage

6·9 تفاعل حزمة الالكترونات مع العينه : —

من المعروف اننا في هذا الكون نرى الاشياء نتيجة استطارة الضوء الساقط عليها (Scattering properties) وكذلك الحال بالنسبة لحزمة الالكترونات حين تمر خلال العينه الصلبه . فأن هذه الالكترونات تستطير من قبل ذرات العينه (Scattered) ونتيجة لهذه الاستطاره

تحفظ الالكترونات او بعبارة ادق تحمل معلومات عن العينهالتي تترجم الى صورة فيها تفاصيل مختلفه . وان قوة الاستطاره هذه للالكترونات تختلف من مادة الى اخرى تعتمد على طبيعة الذرات المكونه للعينه . وقد تكلمنا عن انواع استطاره الالكترونات السريعة من النموذج فصل الالكترونات .

7.9 عملية تكوين الصوره في المجهر الالكتروني : Image Formation

في الحقيقه عملية تكوين الصوره في المجهر الالكتروني هي نفس العمليه الفيزياوية المعروفة لدى الفيزياويين (Physical theory of image formation) والتي يمكن اختصارها بالشكل التالي

النموذج Specimen —— تحول فورير Fourier Transform ——→ الحيود Diffraotion —— Inverse Fourier Transform تحول فورير العكسي ——→ الصوره Image .

اى انه هناك علاقة رياضيه محدده وهي تحول فورير (Fourier transform) بين العينه والصوره . ويمكن تمثيل ذلك تخطيطيا بالشكل التالي

الشكل (9-1) يخبرنا بأن اول عملية هي تكوين الحيود ((Diffraction) في مستوى البعد البؤري للعدسه ((back focal plan e)) والعمليه التاليه هي اعادة تركيب الحيود لتعطي الصوره ((Reconstruction)) وهذا يعني اذا اردنا ان نكتفي بالحيود ، فيمكن تسجيله على صفيحة فوتوغرافيه ومن ومن ثم عمل تحول فورير ((Fourier Transform)) بواسطة الحاسبه الالكترونيه للحصول على الصوره للجسم الخارج المجهر الالكتروني في الحقيقة نستعمل هذا التكنيك في كثير من الحالات ، لانه نحصل على قوة تحليليه عالية (معلومات دقيقه عن العينه) ذلك لانه بعد مرور الحزمه الالكترونيه بسلسلة من العدسات ، ونظرا لان هذه العدسات فيها كثير من العيوب (Chromatic and Nois Sperical abberation

فان المعلومات الدقيقه (على المستوى الذرى) تفقد او تكون مغموره في التشويش

8.9 بعض التطبيقات العلميه في المجهر الالكتروني :

لقد وصف المجهر العالم المعاصر Caupor كابور الحائز على جائزة نوبل (١٩٧٤) بانه من اعظم مكتشفات القرن العشرين ولم يأت وصف عالمنا هذا للجهاز اعتباطا وانما تقويما للاكتشافات التي حدثت نتيجة لاستعمال المجهر الالكتروني . ومثال على ذلك .

كان العلماء في حيره من امرهم بصدد عدم تطابق الحسابات النظريه لبعض الخواص الميكانيكيه للمواد مثل اجهاد القص(Shear stress)

المحسوبه نظريا مع تلك المستنتجه عمليا ، وكان الاختلاف كبيرا جدا بحيث تزيد القيمه النظريه على القيمه العمليه بعشرة الاف مرة مثلا . فلا يمكن ان تختلف النظريه الصحيحه عن الحقيقه الى هذه الدرجه .فوقف الباحثون لاول وهله امام هذه المعضله . فأدعى البعض ان الخطأ ليس في النظريه وانما في التركيب البلورى غير المثالي للمواد فأعترت هذه الفكره الصائبه حينذاك فلسفه مثاليه لاأساس لها من الصحة العملية ،

ولكن جاء المجهر الالكتروني ليترجم الفلسفه الى واقع ملموس ويظهر صحة هذه النظريه فأذا ما نظرنا الى ماده بلوريه بواسطة المجهر الالكتروني ، فسنرى حقا العيوب بأشكالها العيوب المستويه ((Stacking foult) والعيوب الخطيه مثل الخلع(Dislocation) وغير ذلك . وهذه العيوب تؤدي الى اضعاف الخواص الميكانيكيه للمواد . وبذلك تم حل اكبر مشكله تكنولوجيه واجهت الانسان في العصر الحديث وهي فهم تركيب المواد على المستوى الذرى .

من خلال الصوره المأخوذه للمواد بواسطة المجهر الالكتروني ومن الامور ـ المهمه التي ساهم المجهر الالكتروني في تنميتها وأثباتها هي الخواص المغناطيسيه للمود . فقد امكن العلماء ان يضعوا نظريه كمية تفسر ظاهرة المغناطيسيه الحديديه (Ferromagnetizm) ومن ثم تصويرها بالمجهر وهي كما يلي فقد اعتبرت ان المواد التي لها الخاصة اعلاه يمكن تصورها بالشكل التالي :

اى انه يمكن تقسيم الماده الى مناطق تدعى بالدومنيه يكون فيها اللف (Spin)

في اتجاه واحد ، والمنطقه الفاصله بين هذه المناطق تدعى بحدود الدومنيه Domain wall

فقد تم تصوير هذه المناطق Domains فعلا بواسطة المجهر وكذلك امكن رؤية الحدود بينهما (Domain wall) وكذلك تم حساب عدد الذرات الموجوده في كل دومنيه ويمكن ان نقول هناك كمعدل حوالي 10^{19} ذره في كل دومنيه والشكل (5-9) هو صورة الكترونيه تتوضح فيها الدومينات وان لهذه الخواص المغناطيسيه تطبيقات مهمه في العصر الحاضر فهناك عدة مختبرات تحاول استعمال هذه المواد كخلايا الحفظ في الحاسبات الالكترونيه بدلا من الخلايا الكهروميكانيكيه المستعمله حاليا وذات الكلفه المرتفعه .

ولكي نعطي مثالا رائعا لما يمكن فهمه بواسطة المجهر الالكتروني الشكل (6-9) الذى يمثل الصوره مجهريه الكترونية للذرات المنفردة (Single atoms)

وطبيعي ان كل ما تقدم حدث نتيجة لتصوير العينات ببعدين (Dimension) وهو التصوير الاعتيادي . ولم يقف العلم عند تصوير الذره بهذا الشكل بل بدأت البحوث على قدم وساق في عدة مختبرات لامكان التصوير بثلاثة ابعاد (Holography) . وقد تنجح هذه الطريقه في السنين القادمه ونرى الحقائق عن التركيبات الذريه بثلاثة ابعاد .



شكل (5-9)



شكل (6-9)

المصطلحات العلمية

Abberation	زيغ
Absorption	امتصاص
Accelaration	تعجيل
Amplitude	سعة
Analysis	تحليل
Angular	زاوي
Annul	الغاء
Aperture	فتحة
Bright	مضاء
Bonds	اواصر
Boundary	حدود
Coherent	متشاكة
Column	اسطوانة جهاز
Complementary	مكملة
Composition	تركيب
Condenser	مكثفة
Constant	ثابت
Conventional	الدارج
Criterion	معيار
Crystal	بلورة
Determination	تعيين
Diagram	مخطط
Diffraction	حيود
Directions	اتجاهات
Discontinuous	غير مستمر
Dislocation	خلع
Disturbance	اضطراب
Emission	انبعاث
Epitexial	تنميط
Equilibrium	توازن

Evaporation	تبخير
Exponential	اسي
Extinction	مسافة الامتصاص
Factor	عامل
Filament	فتيلة
Filter	مصفاة
Fixaction	تثبيت
Frequency	تردد
Fringes	اهداب
Grain	حبة
Grating	محزز
Hexgon	سداسي
Holography	التصوير بثلاث ابعاد
Image	صورة
Indexing	جدولة
Indices	دلائل
Intensity	شدة
Interference	تداخل
Intermediate	وسطي
Interatomic forces	القوى البينية
Ionization	تأين
Investigation	فحص
Lattce	شبيكة
Materials	المواد
Metallurgy	علم المعادن
Monochromatic	اشعة احادية الموجة
Noise	ضوضاء
Obliquity	عامل الميل
Obstacle	معوق
Optical Resolution	التحليل البصري

Optics	بصريات
Orientation	موقع بالنسبة الى
Packing	رص
Pattern	نمط
Periodic	دوري
Phase	طور
Polerization	استقطاب
Polycrastalline	متعدد البلورات
Potential	جهد
Powder	مسحوق
Primary	اولي
Production	انتاج
Proprties	خواص
Quantum	كمي
Reciprocal Space	الحيز المقلوب
Reflection	انعكاس
Refraction	انكسار
Repetition	تكرار
Rhombohedron	منشور سداسي
Rotation	تدوير
Scalar	كمية غير اتجاهية
Scattering	استطارة
Semiconductors	اشباه الموصلات
Shear stress	اجهاد القص
Sinusoiddally	لولبي
Slit	فتحة او شق
Solution	سائل
Specimen	نموذج
Spetial	مكاني ، موضعي

Stress	اجهاد
Structure	بناء
Subistitional	احلال
Symmetry	تناظر
System	منظومة
Temperature	حرارة
Thickness	سمك
Transformation	انتقال
Translation	نقل
Transmission	اختراق
Treatment	معالجة
Unique	منفرد
Vacuum	فراغ
Wave	موجة

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط
https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

المصادر

1 – Andrews, K.W. Interprelation diffraction patterns. (1952).

2 - Barrett, C.S. Structure of Metals (1952) Mc Graw. rill. Inc.

3 - Born Max and wolf Emil, principles of opties (1965) Pergamon press.

4 - Cullity B.D. Elements of X-ray diffraction (1967) ADDISON - WESLEY. LONDON.

5 - Francis, T.S. Introduction to diffraetion-Information processing and the Holography. (1973) MIT press.

6 - Fouels, G.R. Introduction to Modern optics (1967) Holt, Rinehart and winstor, INC. New york.

7 - Hawkes, P.W. Electron optics and Electron Microscopy. (1972) Tayor and Fronics ltd. london.

8 - Hirch, P.B. et al Electron Microscopy of thin crystals, (1965). Butter worths, london.

9 - Kittel, charles, Introduction to solid state physics (1967).

10 - Lipson, H.S. Grystal and X-rays (1970) w.p. London.

11 - Mathaws J. and Mathemtical Methods of physics. (1964) Benjamin.

Walker R.L. New York.

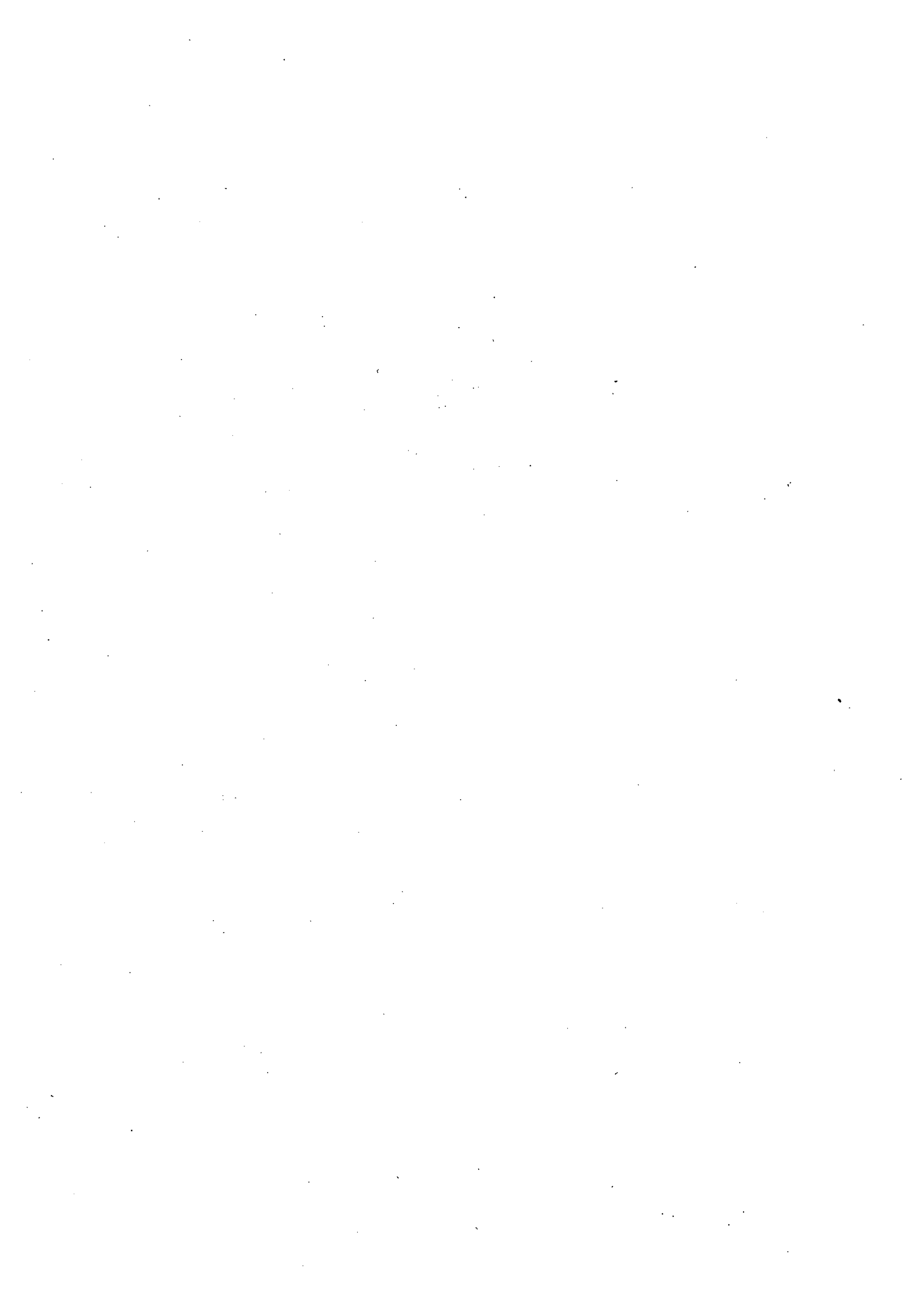
12 - Mott, N.F. and The theory of Atomic collisions, (1965) clarendon

Massey, H.S.W. press. Oxford.

13 - Philips, F,C. An introduction to crystallogrophy, (1946) Lonmans, London.

14 - Rymer, T.B. Electron diffraction (1970), Methuen and CO. Ltd. London.

15 - Thomas, G. Transmission Electron Microscopy of Metals. (1962). John wiley and son, Inc. New york.



الموضوع الفهرســــــت الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع | الصفحة

تصويب الاخطاء

الخطأ	الصواب	الصفحة	السطر
المصطلح مقلوب	(Thomas and Reid Davission and Germer)	١٦٧	٤
شكل 4-6	مقلوب ومدور	١٥٨	
شكل 4-7	3-7	١٧٢	
شكل 3-7	4-7	١٧٢	
شكل 2-4	3-4	١٠٢و١٠٣	
cos (wir)	cos (n,t)	١٩	٧
(r+r)	(ŕ+r)	٢١	١٤
$n\lambda = hsin$	$n\lambda = d \sin\theta$	٣٩	١٦
$\frac{(I\ trans)}{(I\ incid)}$	$\frac{(I\ trans)}{(I_0\ incid)}$	٧٢	١١و١٩

محمد ابو يوسف اللوبشي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط
https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الجامعة التكنولوجية - مركز التعريب والنشر
بغداد ١٩٨٢ م / ١٤٠٢ هـ

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد (٦٦٠) لسنة ١٩٨١

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem



~~25.11.85~~
2.5.88

جامعة الفاتح

مكتبة كلية العلوم

التصنيف

~~5355~~

رقم الكتاب

~~2069~~

عيسى يوسف اللويشي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط
https://archive.org/details/@hassan_ibrahem



تصميم ـ نجـاة خلف